Postverlagsort Würzburg 2

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON
ERICH v. HOLST

HERAUSGEGEBEN VON
ERNST LAMLA

BEIRAT:
J. BARTELS · E. BEDERKE · H. BROCKMANN · P. TEN BRUGGENCATE · C. W. CORRENS · H. J. DEUTICKE
H. v. FICKER · R. GRAMMEL · O. HAHN · R. HARDER · M. HARTMANN · W. HEISENBERG · K. HENKE
A. KUHN · M. v. LAUE · H. MARTIUS · R. W. POHL

ORGAN DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN
ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

42. JAHRGANG **HEFT 15** (ERSTES AUGUSTHEFT) **1955**

INHALT:

Seite

AUFSÄTZE

Albert Einstein † 425
Albert Einstein und das Lichtquantum. Von M. Born . . 425
Die Geschichte der Relativitätstheorie. Von L. Infeld . . . 431

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN

Reversible Leuchtstoffschädigung durch positive Ionen. Von W. Berthold 436
Mechanische Relaxation von einkristallinem Eis. Von H. O. Kneser, S. Magun und G. Ziegler 437
Beitrag zur Quarz-Cristobalit-Umwandlung. Von H. Müller-Hesse, H. E. Schwiete und H. Stollenwerk 437
Die Rotationsanalyse des Singulett-Systems A des Zirkoniumoxyds. Von U. Uhler und L. Åkerlind 438
Über ein Periodensystem der Metallboranate. Von G. N. Schrauzer 438
Inorganic Circular Paper Chromatography. Separation of Lead, Mercury, Bismuth, Copper and Cadmium Ions. Von A. R. Vasudeva Murthy und V. A. Narayan 439
Use of Aryloxy Fatty Acids in Inorganic Analysis. Von S. K. Datta 439
Trägerelektrophorese mit stabilisiertem Strom. Von W. Croon und H. Croon 439
Eine neue Mikro-Bestimmungsmethode für Citronensäure. Von H. Boser 440
Ein dimeres N-Vinylpyrrolidon. Von J. W. Breitenbach, F. Galinovsky, H. Nesvadba und E. Wolf 440
Über das Vorkommen von Fumarsäure in den Blättern der Mariendistel. Von H. Schindler und M. Herb 441
Gitaloxin, ein neues Hauptglykosid der Digitalis purpurea. Von E. Haack, F. Kaiser und H. Spingler 441
Odorosid H als Bestandteil der Inhaltsstoffe von Folia Digitalis purpurea. Von E. Haack, F. Kaiser und H. Spingler . 442
Pharmakologie des Gitaloxins. Von J. D. Achelis und G. Kroneberg 442
Zur Bestimmung des Umladebereiches von Gewebselementen mit dem Fluorochrom Acridinorange. Von N. Schümmelfeder und K.-F. Stock 442
Modification of Grau and Hamm's Method for the Determination of Water-Binding. Von J. J. Connell 443
Über Vorkommen und Verhalten des Thiamindisulfids im Stoffwechsel. Von G. Marten 443
Elektronenmikroskopische Beobachtungen an Geißeln von E. coli. Von H. Braun 444
Die Beteiligung von Konvergenz und Akkommodation an der wahrgenommenen Größenkonstanz. Von E. v. Holst . . 444
Ist der Einfluß der Akkommodation auf die gesehene Dinggröße ein „reflektorischer" Vorgang? Von E. v. Holst 445
Magermilch erhält Lebernekrose-verursachende Eigenschaften beim technischen Trocknen. Ein Beitrag zur alimentären Lebernekrose der Ratte. Von H. Fink und I. Schlie . 446
Die hepatogene Herzinsuffizienz. Von U. Köhler 447

BESPRECHUNGEN

Th. Pöschl, Lehrbuch der technischen Mechanik für Ingenieure und Physiker. (Ref.: E. Mettler) 447
E. Spenke, Elektronische Halbleiter. (Ref.: F. Stöckmann) . 448
L. Moret, Manuel de Paléontologie animale. (Ref.: W. Simon) 448

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften

Herausgegeben von **S. Flügge** und **F. Trendelenburg,** unter Mitwirkung von W. Bothe, und F. Hund.

Soeben erschien:
Achtundzwanzigster Band: Mit 268 Abbildungen. III, 483 Seiten Gr.-8⁰. 1955. DM 79.80
Ganzleinen DM 83.—

Inhaltsübersicht: **Erzeugung und Anwendung von Röntgenblitzen.** Von W. Schaaffs, Berlin-Siemensstadt. — **Ergebnisse der Experimente mit künstlichen π-Mesonen.** Von H. Thurn, Frankenthal, Pfalz. — **Theoretische Behandlung von Problemen der Mesonenphysik.** Von S. Flügge, Marburg a. d. Lahn. — **The Spectroscopy of Nuclear Gamma-Rays by Direct Crystal Diffraction Methods.** By J. W. M. Du Mond, Pasadena, Cal., USA. — **Bedeutung von Korpuskularbestrahlung für die Eigenschaften von Festkörpern.** Von K. Lintner und E. Schmid, Wien. — **Technik und Anwendungen der Kernemulsionen.** Von M. Teucher, Bern. — Inhalt der Bände 11—28. — Namen- und Sachverzeichnis.

Der 27. Band erschien 1953.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Begründet 1913 von *A. Berliner* und *C. Thesing*. 1934/35 herausgegeben von *H. Matthée*, 1936—1944 herausgegeben von *F. Süffert*, 1945—1949 herausgegeben von *A. Eucken*.

Beilage: „Mitteilungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte".

Bildet die Fortsetzung der „Naturwissenschaftlichen Rundschau". Begründet 1886 und bis 1912 (Jahrgang 27) herausgegeben von *J. Bernstein*, *V. Meyer*, *B. Schwalbe*, *W. Sklarek* u. a. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn.

Organ der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte und Organ der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (bis 1948 Organ der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft).

Die **„Naturwissenschaften"** erscheinen zweimal monatlich. Bestellungen nimmt jede Buchhandlung, in den Westzonen auch jedes Postamt entgegen. Preis vierteljährlich 15.— DM, für das einzelne Heft 3.— DM, zuzüglich Postgebühren. Die Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte erhalten die Zeitschrift im Abonnement mit einem Nachlaß von 20 %. Für Studierende der Naturwissenschaften ermäßigt sich der Bezugspreis auf vierteljährlich 11.25 DM zuzüglich Zustellgebühren. Lieferung läuft weiter, wenn nicht vier Wochen vor Quartalsschluß abbestellt wird. Der Bezugspreis ist im voraus zahlbar.

Nachdruck: Es wird ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß mit der Annahme des Manuskripts und seiner Veröffentlichung durch den Verlag das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder an den Verlag übergeht. Grundsätzlich dürfen nur Arbeiten eingereicht werden, die vorher weder im Inland noch im Ausland veröffentlicht worden sind und die auch nachträglich nicht anderweitig zu veröffentlichen der Autor sich verpflichtet.

Es ist ferner ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, photographische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrophote u. ä. von den Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden von der Anzeigenabteilung des Verlages (Berlin W 35, Reichpietschufer 20 [Britischer Sektor], Tel. 24 92 51) angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag

Berlin · Göttingen · Heidelberg

Redaktionelle Hinweise.

I. Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichung zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik „KOM" („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platzmangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne KOM nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Die KOM erscheinen „unter ausschließlicher Verantwortung der Autoren". Eine wissenschaftlich-kritische Stellungnahme der Herausgeber zu ihrem Inhalt erfolgt nicht. Die Redaktion prüft lediglich, ob ein genügendes Allgemein-Interesse vorliegt.

4. „Kurze Originalmitteilungen" aus dem englischen und französischen Sprachgebiet können in der Originalsprache veröffentlicht werden.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zeitschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,

(20b) Göttingen, Jennerstr. 21, Tel.: 47 17.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Photographische Abbildungen (Autotypien) können gebracht werden, soweit sachlich erforderlich. In vielen Fällen läßt sich jedoch das Wesentliche durch eine (leichter reproduzierbare) Zeichnung ebensogut zeigen.

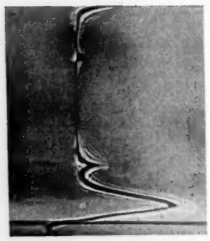
Korrekturen.

Die Autoren der Aufsätze, Berichte und Buchbesprechungen erhalten eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung erbeten wird.

Bei den KOM wird zur Beschleunigung des Erscheinens die Korrektur von Text und Abbildungen von der Redaktion besorgt, soweit nicht der Autor bei Einsendung des Manuskriptes ausdrücklich den Wunsch äußert, diese Arbeit selbst vorzunehmen. Bei KOM ohne Figuren soll hierdurch das Erscheinen innerhalb 4 Wochen nach Eingang bei der Redaktion ermöglicht werden.

Besprechungsexemplare.

Es wird gebeten, von der unverlangten Zusendung von Büchern, besonders kleineren Broschüren und Zeitschriften-Heften, abzusehen und zunächst eine Anfrage an die Redaktion zu richten, die dann von sich aus Exemplare anfordern wird. — Für die Rückgabe unverlangter Sendungen kann keine Gewähr übernommen werden.



Aus unserem Fertigungsprogramm zeigten wir auf der ACHEMA XI:

Laborzentrifuge ‚PIROUETTE' 15.000 UpM, 450 cm³
Kühlzentrifuge ‚EISPIROUETTE' 14.500 UpM, 450 cm³
Ultrazentrifuge 50.000 UpM für Molekulargewichte bis 1000, mit automatischer Protokolleinrichtung und Zusatzapparatur für Diffusionsmessungen
Elektrophoresis für präparative Aufgaben
Schlierenkamera allgemein verwendbar und eingerichtet für die Verfahren nach Toepler, Philpot-Svensson, Lamm, Rayleigh
Klein-pH-Meßgerät batteriegespeist, tragbar, Elektroden für alle Zwecke, vielseitig anwendbar

Wir beraten Sie gerne kostenlos und unverbindlich

PHYWE AG · GÖTTINGEN
FABRIK WISSENSCHAFTL. APPARATE U. LABOREINRICHTUNGEN

Zweigbüros: Berlin, Hamburg, Frankfurt a. M., Köln, München, Nürnberg, Stuttgart; Auslandsvertretungen
Postfach: 665 - Drahtwort: PHYWE Göttingen - Fernruf: 6393

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

42. Jahrgang Heft 15 (Erstes Augustheft) 1955

Albert Einstein †.

Mitte März dieses Jahres war eine Festsitzung der Physikalischen Gesellschaft in Berlin dem Gedenken an die Tatsache gewidmet, daß ALBERT EINSTEIN vor 50 Jahren seine berühmten Abhandlungen über das Lichtquantum und über die Relativitätstheorie veröffentlicht hat. Während die Vorträge, die M. BORN und L. INFELD bei dieser Gelegenheit gehalten haben, im Druck waren, erreichte uns alle die traurige Nachricht, daß ALBERT EINSTEIN am 21. März 1955 verschieden ist. „Die Naturwissenschaften" trauern mit der ganzen physikalischen Welt über den Verlust des Mannes, der als ein Bahnbrecher hohen Ranges der Physik neue Wege gewiesen hat. Die Vorträge von BORN und von INFELD beschäftigen sich mit dem Hauptwerk EINSTEINs und sind damit zugleich eine Huldigung an den Genius des großen Gelehrten.

Albert Einstein und das Lichtquantum *).

Von MAX BORN, Bad Pyrmont.

Die Einladung zur 50. Wiederkehr des Tages, da EINSTEINs erste Arbeit über das Lichtquant („Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt") erschien, an dieser Stelle zu sprechen, war mir eine große Auszeichnung, und ich sah es als eine Ehrenpflicht an, sie anzunehmen. Denn einmal ist meine Freundschaft mit EINSTEIN auch fast ein halbes Jahrhundert alt, und zum andern war Berlin die erste Universität, wo ich eine Professur innehatte, und der einzige Ort, wo ich einige Jahre neben EINSTEIN wirkte und in stetem Umgang mit ihm lebte. — Aber dann kamen mir auch Bedenken. Als ich vor $1^1/_2$ Jahren von meinem Lehrstuhl in Edinburgh wegen Erreichung der Altersgrenze zurücktrat, habe ich beschlossen, keinen aktiven Anteil mehr an der physikalischen Wissenschaft zu nehmen (abgesehen von der Fertigstellung von zwei Büchern, die lange vorher begonnen waren und von denen eines inzwischen erschienen ist); ich habe mich an einen stillen Ort ohne Universität und ohne Bibliothek zurückgezogen und den größten Teil meiner eigenen Bücher und Zeitschriften verkauft. So fehlt mir alles literarische Handwerkszeug, um mein Gedächtnis wieder aufzufrischen. Und doch wollte ich mich dem Rufe nicht entziehen. Sind doch nur wenige theoretische Physiker noch am Leben, die das aufregende, großartige Schauspiel der Entstehung der modernen Physik von Anfang an miterlebt haben. Wenn Sie daher in Kauf nehmen wollen, daß meine Erzählung im wesentlichen auf Erinnerung beruht und vielleicht in einigen Punkten nicht ganz richtig sein mag, so will ich versuchen, die ersten Jahre dieses Jahrhunderts in der Physik und EINSTEINs Anteil an ihrer Entwicklung, insbesondere der Lichtquanten-Vorstellung, zu schildern.

Im selben Jahre 1905 und im selben Bande der Annalen der Physik erschienen auch zwei andere fundamentale Abhandlungen EINSTEINs, eine über Relativitätstheorie, die andere über BROWNsche Bewegung. So verschieden diese Themen erscheinen, so bestehen doch Beziehungen zwischen ihnen. Insbesondere beruht EINSTEINs Theorie der Schwankungen und der BROWNschen Bewegung auf ganz ähnlichen Überlegungen wie seine Begründung der Lichtquanten-Vorstellung. Dies werde ich versuchen klarzumachen, als ein Beispiel des Strebens nach einer einheitlichen, allumfassenden Naturauffassung, die EINSTEINs Gedanken bis zum heutigen Tage geleitet hat.

Lassen Sie mich beginnen mit einigen Worten über EINSTEINs persönliche Vorgeschichte und sein plötzliches Erscheinen als neuer Stern am Himmel der Physik. Er wurde am 14. März 1879 in Ulm geboren. Seine Eltern zogen bald nach München und später nach Pavia in Italien; er selbst blieb am Luitpoldgymnasium in München, fand den Unterricht aber so geisttötend, daß er eigenmächtig 1894 die Schule ohne Abschlußexamen verließ und zu seinen Eltern nach Mailand fuhr. Derselbe Sinn nach Unabhängigkeit bewog ihn bald darauf zum Austritt aus der jüdischen Religionsgemeinschaft und zur Aufgabe seiner deutschen Staatsbürgerschaft. 1895 ging er in die Schweiz und wurde in die aargauische Kantonsschule aufgenommen, wo ein freier Wind wehte und wo er gleichgesinnte Freunde fand.

Nach dem Abschlußexamen bezog er 1896 die Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich, um Mathematik und Physik zu studieren. Unter seinen Lehrern war HERMANN MINKOWSKI, der am Ausbau der Relativitätstheorie später entscheidenden Anteil nahm. MINKOWSKI war auch mein Lehrer (in Göttingen) und hat mir nach dem Erscheinen von EINSTEINs Relativitätsarbeit einmal gesagt: „Das hätte ich dem EINSTEIN eigentlich nicht zugetraut." Im Jahre 1900 legte EINSTEIN die Diplomprüfung für Fachlehrer ab, hatte aber Schwierigkeiten, eine Stellung zu finden. Er war einige Zeit Hilfslehrer in Winterthur und in Schaffhausen, bis er 1902 als

*) Vortrag, gehalten vor der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin e. V. am 18. März 1955 in Berlin-Charlottenburg.

„Experte III. Klasse" am „Eidgenössischen Amt für geistiges Eigentum" in Bern, dem Schweizer Patentamt, angestellt wurde. Nach den Entbehrungen seiner Schüler- und Studentenzeit schien ihm das kleine, feste Einkommen eine Erlösung, und die 8 Std, die er mit trockenen Patentschriften an seinem Pult im Amt verbringen mußte, hinderten ihn nicht, seine philosophisch-physikalischen Gedanken zu verfolgen. In dieser Umgebung, fern von den Anregungen einer Hochschule, sind alle jene großen Arbeiten entstanden. Wenn ich viele Jahre später seine Hilfe anrief, um eine Stellung für einen begabten Schüler zu finden, bekam ich gewöhnlich eine Antwort etwa des Inhalts: „Laß ihn Schuster oder Schlosser werden; wenn ihm die Wissenschaft im Blut liegt und er was taugt, wird er seinen Weg schon machen". Geholfen hat er dann doch, wenn er konnte. Aber die Idee, daß das Suchen nach Erkenntnis nichts zu tun haben sollte mit dem Broterwerb, hat ihn nie verlassen und ist heute lebendiger denn je aus anderen Gründen, auf die ich zurückkommen werde.

Im selben Jahre 1900, als EINSTEIN in Zürich sein Diplomexamen ablegte, verkündete MAX PLANCK in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft seine Strahlungsformel (am 19. Oktober) [*1*] und ihre theoretische Deutung durch die Quantenhypothese (am 14. Dezember) [*2*]. Von der Wirkung dieser Mitteilung kann ich Ihnen keinen Bericht aus persönlicher Erfahrung geben. Denn damals war ich noch selber auf der Schule und in den Nöten des Abiturientenexamens. Ostern 1901 begann ich mein Studium, konzentrierte mich aber keineswegs sogleich auf Mathematik und Physik, sondern studierte so heterogene Dinge wie Zoologie, Nationalökonomie, Astronomie und Philosophie. Aber auch in den folgenden Jahren, als ich in Breslau, Heidelberg, Zürich und Göttingen die Vorlesungen bedeutender Mathematiker besuchte und auch etwas Physik trieb, erfuhr ich zwar, hauptsächlich durch MINKOWSKI, von den Schwierigkeiten in der Elektrodynamik bewegter Körper, die dann zur Relativitätstheorie führten, aber so gut wie nichts von den Quanten. Diese waren noch eine Angelegenheit der Spezialisten für Wärmestrahlung und galten trotz der experimentellen Bestätigung von PLANCKs Strahlungsformel für eine sonderliche ad-hoc-Hypothese, die man nicht ganz ernst nahm.

EINSTEIN aber nahm sie ernst. Er war an Lebensalter mir nur etwa 4 Jahre voraus, an intellektuellem Alter (wie die Psychologen sagen) aber gewiß 8 Jahre oder mehr. Er hat sich schon zwischen seinem 12. und 16. Lebensjahr die Differential- und Integralrechnung aus Büchern angeeignet und andere Zweige der Mathematik mit Begeisterung studiert, während ich diese Dinge als Student in normalen Vorlesungen lernte — allerdings auch mit latenter Begeisterung. Und wenn er auf der Züricher Hochschule seinen Lehrern durch unregelmäßigen Besuch der Vorlesungen und eine gewisse Teilnahmslosigkeit auffiel, so lag das daran, daß er wohl das meiste schon wußte und mit tieferen Problemen beschäftigt war.

In den Jahren 1900 bis 1905 scheint die Quantenlehre keine Fortschritte gemacht zu haben. Sir EDMUND WHITTAKERs zuverlässiges und umfassendes Buch „A History of the Theories of Aether and Electricity", dessen neu aufgelegter 2. Band die Jahre von 1900 bis 1926 behandelt (Edinburgh: Th. Nelson & Sons, Ltd. 1953), berichtet nichts über diese Periode.

Das wurde anders, als heute vor 50 Jahren EINSTEINs Abhandlung erschien [*3*]. Die ersten 6 Abschnitte enthalten theoretische Überlegungen, die außer von einigen Spezialisten wenig beachtet wurden; die letzten 3 Paragraphen aber handeln von ganz neuen Anwendungen der Quanten, nämlich auf die STOKESsche Regel bei der Lumineszenz, auf den lichtelektrischen Effekt und auf die Ionisierung von Gasen. Der gemeinsame Gesichtspunkt ist, daß es sich in allen diesen Fällen um die Umwandlung von kinetischer Energie E eines Elektrons in ein Lichtquant $h\nu$ handelt oder umgekehrt, so daß eine lineare Beziehung von der Form

$$E = h\nu + \text{const.}$$

gelten muß, dargestellt in einem (E, ν)-Diagramm als eine gerade Linie mit der Neigung h, wo h die PLANCKsche universelle Konstante ist, deren Wert von PLANCK aus Strahlungsmessungen bestimmt worden war. Hier hat man also experimentell prüfbare Behauptungen, und es ist kein Wunder, daß die Experimentalphysiker sich darauf stürzten.

Es kann nicht meine Aufgabe sein, die Geschichte der experimentellen Forschungen in dieser Richtung näher zu schildern. Es genügt zu sagen, daß EINSTEINs Arbeit zu einer Fülle von Experimenten anregte und in das Gebiet der mannigfaltigen Erscheinungen, die mit der Erzeugung und Vernichtung von Strahlung zusammenhängen, zum ersten Male Ordnung brachte. Ich möchte aber nun auf jene ersten sechs theoretischen Paragraphen von EINSTEINs Arbeit eingehen, da *sie* eigentlich die Tiefe und Überzeugungskraft von EINSTEINs Gedanken enthüllen.

Es führt, wie EINSTEIN selbst nicht müde wird zu betonen, kein eindeutiger, logischer Weg von den Erfahrungstatsachen zu den theoretischen Systemen der Physik; diese sind Kinder der frei schaltenden Phantasie, der Spekulation. Und doch ist ohne Zweifel der Wert einer Theorie um so höher, unser Vertrauen in sie um so größer, je geringer die freie Wahl, je größer der logische Zwang ist. Mir scheint die vereinigte Leistung von MAX PLANCK und ALBERT EINSTEIN diesem Ideal nahe zu kommen. Lassen Sie mich versuchen, diese Behauptung zu erläutern, und zwar unter Benutzung der heute üblichen Ausdrucksweise und Bezeichnungen.

PLANCK hatte in langjähriger Vorarbeit den statistischen Charakter der schwarzen Strahlung erkannt und die Methoden zu seiner Beherrschung entwickelt. Dabei kam er zu der Überzeugung, daß die Entropie wegen ihrer von BOLTZMANN entdeckten Beziehung zur Wahrscheinlichkeit eines Zustandes die entscheidende Größe für ein thermo-statistisches System ist. Von der Strahlungsdichte ϱ war bekannt, daß sie die vom WIENschen Verschiebungsgesetz bedingte Form $\varrho = \nu^3 f(\nu/T)$ haben müsse (woraus das STEFAN-BOLTZMANNsche Gesetz für die totale Strahlung folgt) und darüber hinaus 2 Grenzfälle: Für hohe Temperaturen gilt das RAYLEIGHsche Gesetz (Proportionalität mit der Temperatur T), für tiefe das WIENsche Gesetz [Proportionalität mit $\exp(-a/T)$].

PLANCKs erster Schritt bestand darin, die Untersuchung der Strahlung zu ersetzen durch die eines Systems gleicher harmonischer Oszillatoren der Fre-

quenz ν, die mit der Strahlung im statistischen Gleichgewicht sind. Eine rein elektrodynamische Rechnung ergibt für das Verhältnis von Strahlungsdichte ϱ zur mittleren Energie u eines Oszillators den Wert $8\pi\nu^2/c^3$. Sodann berechnet PLANCK die zweite Ableitung der Entropie S nach der Energie U; ich will hier für diese Größe die Abkürzung

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -k\gamma \tag{1}$$

gebrauchen, wo k die Gaskonstante pro Teilchen eines idealen Gases ist; ferner will ich statt der Temperatur T die Größe $\beta = 1/kT$ benützen. Dann ergibt eine einfache thermodynamische Betrachtung (s. Anhang A, S. 431)

$$\gamma = -\left(\frac{dU}{d\beta}\right)^{-1}. \tag{2}$$

Der Vorteil dieser Schreibweise ist, daß in den beiden erwähnten Grenzfällen die auf einen Oszillator bezogene Energie u eine besonders einfache Funktion von β ist, so daß man den Ausdruck (2) sofort hinschreiben kann. Man hat für

$$\begin{matrix} T \text{ groß (RAYLEIGH)} \\ T \text{ klein (WIEN)} \end{matrix} \quad u = \begin{Bmatrix} \beta^{-1} \\ u_0 e^{-\varepsilon_0\beta} \end{Bmatrix} \quad \frac{du}{d\beta} = \begin{Bmatrix} -u^2 \\ -\varepsilon_0 u \end{Bmatrix}. \tag{3}$$

PLANCK macht nun den kühnen Schritt [*1*], zwischen diesen beiden Fällen zu interpolieren durch Bildung der Summe $-u^2 - \varepsilon_0 u$, die in den Grenzfällen großer bzw. kleiner Strahlungsdichte in die richtigen Werte übergeht. Dann erhält man durch Integration und Berücksichtigung des WIENschen Verschiebungsgesetzes für die mittlere Oszillatorenenergie (Anhang B)

$$u = \frac{\varepsilon_0}{e^{\beta\varepsilon_0} - 1}, \qquad \varepsilon_0 = h\nu, \tag{4}$$

wo h eine Konstante ist. Das führt mit Hilfe des angegebenen Umrechnungsfaktors auf die PLANCKsche Formel für die Strahlungsdichte ϱ.

Natürlich kann man das kaum als eine Ableitung bezeichnen wegen der willkürlichen Wahl der Größe γ^{-1} zur Interpolation.

In einer zweiten Arbeit [*2*] deutet PLANCK die Oszillatorenenergie (4) als Mittelwert über eine BOLTZMANNsche Verteilung mit endlichen Energiequanten, $\varepsilon_n = \varepsilon_0 n = h\nu n$, $(n = 0, 1, 2, \ldots)$,

$$u = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_n e^{-\beta\varepsilon_n}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\beta\varepsilon_n}} = -\frac{d}{d\beta}\log\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\beta\varepsilon_0 n} = \frac{\varepsilon_0}{e^{\beta\varepsilon_0} - 1}.$$

Nur wer wie ich in der klassischen Tradition aufgewachsen ist, kann die Kühnheit dieser Idee ganz würdigen. PLANCK selbst neigte dazu, die Aufteilung der Energie in endliche Quanten nicht als Eigenschaft der Strahlung selbst, sondern ihrer Wechselwirkung mit den Oszillatoren anzusehen. Hier griff EINSTEIN [*3*] ein. Er entdeckte eine einfache physikalische Bedeutung der von PLANCK zur Interpolation benutzten Größe γ^{-1}, die unmittelbar zur Vorstellung unabhängiger Lichtquanten führt, überdies auch das Interpolationsverfahren selbst rechtfertigt. EINSTEIN stützt seine Überlegungen auf BOLTZMANNS Beziehung zwischen Entropie S und Wahrscheinlichkeit P,

$$S = k \log P. \tag{5}$$

Da diese zu jener Zeit noch keineswegs allgemein angenommen wurde, gibt er eine einfache Ableitung (die mir auch heute noch die beste scheint). Die folgenden Betrachtungen hängen aufs engste mit seiner Theorie der Schwankungen und der BROWNschen Bewegung zusammen.

Der Hauptgedanke ist, die Formel (5) umzukehren, die Wahrscheinlichkeit als Funktion der Entropie anzusehen,

$$P = e^{S/k}, \tag{6}$$

und die thermodynamischen Eigenschaften von S gehörig auszunutzen.

Man denke sich ein im thermischen Gleichgewicht befindliches System in kleine, gleiche Teile zerlegt; dann wird die Energie E in einem Teil wegen der statistischen Natur der Wärme nicht gleich der jedem der Teile im Mittel zukommenden Energie $\overline{E} = U$ sein, sondern es werden Schwankungen $\Delta E = E - \overline{E}$ vorkommen. Die Entropie des betrachteten Teils kann man (bei festem Volumen) als Funktion von E ansehen und nach Potenzen von ΔE entwickeln; die Gesamtentropie hat dann kein lineares Glied, da für ein adiabatisch isoliertes System die Summe über alle Teile $\sum \Delta E = 0$ ist. Man hat mit der Abkürzung (1)

$$\sum S = \text{const.} - \tfrac{1}{2} k\gamma \sum (\Delta E)^2 + \cdots.$$

Nunmehr folgt aus (6) angenähert

$$P = e^{\Sigma S/k} = P_0 e^{-\frac{1}{2}\gamma\Sigma(\Delta E)^2}; \tag{7}$$

daraus liest man nach (2) unmittelbar ab (Anhang C), daß

$$\overline{(\Delta E)^2} = \frac{1}{\gamma} = -\frac{dU}{d\beta}. \tag{8}$$

Das ist die Fundamentalformel für die Energieschwankungen, wie sie in EINSTEINs Theorie der BROWNschen Bewegung benutzt wird. Betrachtet man z.B. ein materielles System bei konstantem Volumen, so erhält man EINSTEINs bekanntes Gesetz

$$\overline{(\Delta E)^2} = kT^2 c_v,$$

wo $c_v = dU/dT$ die spezifische Wärme ist.

Im Falle der Strahlung ist E die gesamte in einem kleinen, als Einheit gewählten Volumen befindliche Strahlungsenergie der Frequenz ν, also im Mittel gleich ϱ; es ist bequem, statt dessen die Größe $u = \varrho c^3/8\pi\nu^2$ zu betrachten, ohne daran zu denken, daß u als mittlere Energie eines mit der Strahlung im Gleichgewicht befindlichen Oszillators definiert wurde. Übrigens hat sich später herausgestellt, daß u eine Bedeutung für die Strahlung selbst hat; man kann nämlich das Feld der Strahlung nach FOURIER zerlegen, dann entspricht jeder FOURIER-Komponente ein Oszillator, und es zeigt sich, daß $8\pi\nu^2/c^3$ die Anzahl der Strahlungsoszillatoren im Einheitsvolumen für das Frequenzintervall 1 ist und u die Energie eines dieser Oszillatoren.

EINSTEIN betrachtet nun den (WIENschen) Fall niederer Temperatur, wo die Strahlungsenergie in diesem Maße u durch

$$u = u_0 e^{-\varepsilon_0\beta}$$

gegeben ist; dann folgt aus (8)

$$\overline{(\Delta E)^2} = \varepsilon_0 u, \quad (T \text{ klein}). \tag{9}$$

Sieht man E als ein Vielfaches n des kleinen „Energiequants" ε_0 an,

$$E = n\,\varepsilon_0, \tag{10}$$

so hat man $u = \varepsilon_0 \bar{n}$, wo $\bar{n}$ die mittlere Anzahl der Quanten ist, und man erhält für das mittlere Schwankungsquadrat von n

$$\overline{(\Delta n)^2} = \bar{n}, \quad (T \text{ klein}). \tag{11}$$

Die Formel aber besagt auf Grund bekannter statistischer Gesetze, daß die Strahlungsenergie sich verhält, als ob sie aus unabhängigen Teilchen (der Größe $\varepsilon_0 = h\nu$) bestünde.

Dies ist der wesentliche Inhalt des theoretischen Teils der EINSTEINschen Arbeit. Lassen Sie mich aber die Sache ein wenig weiterführen.

Dieselbe Überlegung führt im (RAYLEIGHschen) Grenzfall hoher Temperaturen, wo $u = \beta^{-1}$ ist, auf

$$\overline{(\Delta E)^2} = u^2, \quad (T \text{ groß}) \tag{12}$$

oder

$$\overline{(\Delta n)^2} = \bar{n}^2 \quad (T \text{ groß}). \tag{13}$$

PLANCKs Interpolation durch Addition der in den beiden Grenzfällen gültigen Werte rechtfertigt sich jetzt durch die einfache Bemerkung, daß mittlere Schwankungsquadrate additiv sind, wenn sie von unabhängigen Einflüssen herrühren.

Was sind nun diese beiden Prozesse? Den einen hat EINSTEIN gedeutet: für tiefe Temperaturen, also kleine Strahlungsdichte, verhält sich die Strahlung wie ein ideales Gas. Was ist aber der andere Prozeß, der bei hohen Temperaturen rein erscheint? H. A. LORENTZ hat gezeigt, daß ein statistisches Gemenge von ebenen Wellen mit willkürlichen Amplituden und Phasen gerade auf den Ausdruck (13) für die Energieschwankung führt.

Man sieht also, daß implizite in EINSTEINs Arbeit schon die Dualität Welle—Teilchen vollständig enthalten ist. Für geringe Energiedichten treten die Teilchen in Erscheinung, ihre Zahl schwankt gemäß (11); für große Dichten aber gilt (13), und für mittlere Dichten hat man

$$\overline{(\Delta n)^2} = \bar{n} + \bar{n}^2 = \bar{n}(\bar{n}+1). \tag{14}$$

Hier erscheint also schon jene Eigentümlichkeit der Quanteneffekte, die darin besteht, daß man aus klassischen Formeln richtige Quantenformeln erhält, wenn man n^2 durch $n(n+1)$ ersetzt.

Wie wurde nun diese Idee aufgenommen? Lassen Sie mich von meinen eigenen Erfahrungen sprechen. In Göttingen hatte ich, soweit ich mich erinnere, kaum etwas von Quanten erfahren; auch nicht in Cambridge, wo ich im Frühjahr und Sommer 1906 einige Monate bei J. J. THOMSON und LARMOR Vorlesungen hörte und einen experimentellen Kurs im Cavendish-Laboratorium mitnahm. Erst als ich im Herbst 1906 nach Breslau zu LUMMER und PRINGSHEIM ging, kam ich in die rechte Quanten-Atmosphäre. Denn diese beiden hatten ja wesentlich zur experimentellen Erforschung der schwarzen Strahlung beigetragen. Aber obwohl die PLANCKsche Formel im Zentrum der Diskussion stand, war man doch geneigt, PLANCKs Vorschlag der quantenhaften Oszillatorenergie nur als eine vorläufige Arbeitshypothese anzusehen, und EINSTEINs Lichtquanten wurden nicht ernst genommen. LUMMER war ja auch ein großer Fachmann im Gebiet der Wellenoptik — denken Sie an die LUMMER-Platte —, und es war damals viel verlangt, daß jemand, der jeden Tag Interferenzen beobachtete, an die Erneuerung der Korpuskulartheorie glauben sollte. Man machte Versuche, das Gesetz $E = h\nu$ klassisch zu verstehen. Auch ich habe mich eines solchen Verbrechens schuldig gemacht, und ich will es Ihnen spaßeshalber vorführen. Denken Sie sich einen Apfelbaum, bei dem die Länge l der Stiele der Äpfel umgekehrt proportional mit dem Quadrat der Höhe H über dem Boden abnimmt; dann ist $\nu \sim 1/\sqrt{l} \sim H$; wenn nun der Baum mit einer bestimmten Frequenz geschüttelt wird, geraten die Äpfel einer bestimmten Höhe in Resonanz, fallen herunter und kommen am Boden mit einer kinetischen Energie an, die der Fallhöhe und daher der Schüttelfrequenz proportional ist: *Voilà*. Heute scheint uns das etwas kindlich, um nicht zu sagen kindisch. Aber zu meiner Entschuldigung muß ich anführen, daß MAX PLANCK selber in irgendeinem Vortrag dieses Modell erwähnt hat — wie es ihm bekannt geworden ist, weiß ich nicht.

Anfang 1907 erschien EINSTEINs zweiter fundamentaler Beitrag zur Quantentheorie, seine Theorie der spezifischen Wärme [4]. Diese zeigte klar, daß es sich nicht, wie PLANCK glaubte, um etwas handle, das den Austausch der Energie zwischen Teilchen und Strahlung betreffe, sondern um ein ganz allgemeines, neues Prinzip, das Mechanik und Elektrodynamik umfaßt. Wie diese Einsicht sich in meinem Kopfe allmählich formte, ist mir nicht im einzelnen erinnerlich. Ich hatte inzwischen EINSTEIN kennengelernt und in Gesprächen mehr von ihm gelernt als aus seinen Schriften. Äußerlich kam meine Bekehrung zu EINSTEINs Standpunkt zum Ausdruck in der mit meinem Freund THEODOR v. KÁRMÁN gemeinsam verfaßten Arbeit über die spezifische Wärme von Kristallgittern, in der wir EINSTEINs Überlegungen durch Berücksichtigung des Schwingungsspektrums verschärften, wobei uns übrigens DEBYE ein paar Wochen zuvorkam. Das war aber erst im Jahre 1912. Im folgenden Jahre reifte der Plan der Berliner Akademie, EINSTEIN, der damals Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich war, nach Berlin zu berufen. Um diesen Plan zu unterstützen, machten vier der bedeutendsten deutschen Physiker, PLANCK, NERNST, RUBENS und WARBURG, eine Eingabe an das Preußische Unterrichtsministerium, worin sie EINSTEINs Leistungen aufzählten und würdigten. Darin findet sich ein erstaunlicher Passus, den ich Ihnen ohne Indiskretion mitteilen kann, da er in dem schönen Buche „ALBERT EINSTEIN und die Schweiz" von CARL SEELIG abgedruckt ist. Es heißt da: „Zusammenfassend kann man sagen, daß es unter den großen Problemen, an denen die moderne Physik so reich ist, kaum eines gibt, zu dem nicht EINSTEIN in bemerkenswerter Weise Stellung genommen hätte. Daß er in seinen Spekulationen auch einmal über das Ziel hinausgeschossen haben mag, wie z. B. in seiner Hypothese der Lichtquanten, wird man ihm nicht allzu sehr anrechnen dürfen. Denn ohne einmal ein Risiko zu wagen, läßt sich auch in der exaktesten Naturwissenschaft keine wirkliche Neuerung einführen."

Das zeigt Ihnen die damals noch ganz allgemeine Skepsis gegenüber der Lichtquantenvorstellung. Es

kann nicht meine Aufgabe sein, den allmählichen Umschwung der Stimmung darzustellen. Nur ein paar wichtige Ereignisse möchte ich betonen. Da ist zunächst J. J. THOMSONs Bemerkung vom Jahre 1907, daß die Zahl der von Röntgenstrahlen ionisierten Atome mit der Entfernung von der Strahlenquelle abnimmt, wobei doch zu jedem Ionisationsakt dieselbe Energie zugeführt werden muß; woraus er schloß, daß die Strahlung nicht aus gleichförmigen Kugelwellen bestehen kann, sondern daß sie sich mehr wie ein Regen von Teilchen verhält. Später (1916) hat EINSTEIN diese Idee der „*Nadelstrahlung*" statistisch begründet [*5*], indem er den Impuls berechnet, den ein im Strahlungsfeld schwebendes Teilchen bei Absorption und Emission erhält und abgibt; die Forderung, daß die normale BROWNsche Bewegung dadurch nicht gestört wird, ist nur erfüllbar, wenn die Strahlung sich verhält wie ein Gas von Teilchen mit der Energie $h\nu$ und dem Impuls $h\nu/c$.

Inzwischen waren von 1913 an BOHRs Arbeiten über die Quantentheorie der Elektronenbahnen in Atomen und den Ursprung der Spektren erschienen. Von da an stand es fest, daß die Physik der Zukunft von der Quantenidee beherrscht sein würde. Über der Diskussion von Quantenbedingungen und Auswahlregeln, die man zur Beschreibung der Elektronenbewegung erfand, wurde die Quantenstruktur des Lichtes fast vergessen, bis sie im Jahre 1922 wieder aktuell wurde durch die Entdeckung des COMPTON-*Effekts* und seine Erklärung als Stoß von Photonen und Elektronen. Diese Deutung beruht auf der Anwendung der Erhaltungssätze für Energie und Impuls, wobei die beiden Entdeckungen EINSTEINs, die wir in diesen Tagen feiern, zugleich benützt werden:

die relativistischen Formeln

$$E = mc^2, \quad p = mc, \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

für das Elektron, die Quantenformeln

$$E = h\nu, \quad p = h\nu/c$$

für das Photon.

In denselben Gedankenkreis gehört die Arbeit von SMEKAL, der im folgenden Jahre 1923 darauf aufmerksam machte, daß nach dem Erhaltungssatz der Energie für ein System, bestehend aus einem Atom (oder einer Molekel) und einem Photon, eine neue Art von Lichtstreuung mit Frequenzänderung zu erwarten sei. Dies gab Anlaß zu einer Revision der Dispersionstheorie vom Standpunkt der Quantenvorstellung, durch LADENBURG, KRAMERS und HEISENBERG, ein wichtiger Schritt in der langsamen Entwicklung, die schließlich zur Quantenmechanik führte. Die von SMEKAL vorhergesagte Erscheinung, jetzt RAMAN-Effekt genannt, wurde aber erst 1928 von RAMAN an Molekeln, von LANDSBERG und MANDELSTAM an Kristallen gefunden.

Was die Strahlungsformel betrifft, so war es EINSTEIN selbst, der sie im Jahre 1916 aus den BOHRschen Annahmen über stationäre Zustände ableitete [*6*], indem er die Emission und Absorption eines Lichtquants in Analogie zum radioaktiven Zerfall behandelte. Die Symmetrie der Übergangswahrscheinlichkeit A_{nm} zwischen zwei Zuständen n und m, $A_{nm} = A_{mn}$, die dabei zum Vorschein kam, war wieder ein wichtiger Wegweiser beim Vordringen zur Quantenmechanik. Diese Ableitung der Strahlungsformel aus Übergangswahrscheinlichkeiten entspricht in der Gastheorie der Benutzung der BOLTZMANNschen Stoßformel. Man kann aber die Gleichgewichtsgesetze eines Gases auch gewinnen, ohne Stoßprozesse zu betrachten, durch Bestimmung des wahrscheinlichsten Zustandes. Sollte es nicht möglich sein, auch die Strahlungsformel als energetische Zustandsgleichung eines Photonengases zu erhalten? EINSTEINs ursprüngliche Schwankungsbetrachtung liegt in dieser Richtung, führt aber nur für geringe Strahlungsdichten zur Formel (11), die für ein Gas charakteristisch ist, während im allgemeinen die kompliziertere Formel (14) gilt. Diese Frage hat EINSTEIN lange beschäftigt und beunruhigt, und als im Jahre 1924 der Inder BOSE die Lösung fand, indem er die prinzipielle Nichtunterscheidbarkeit der Photonen statistisch in Rechnung setzte, griff EINSTEIN diesen Gedanken sofort auf und dehnte ihn auf materielle Teilchen aus [7]. Er hatte wohl damals schon Kunde von DE BROGLIEs kühnem Gedanken der Wellenmechanik (veröffentlicht in kleinen Mitteilungen seit 1923, zusammengefaßt in seiner berühmten Dissertation 1924). Die BOSE-EINSTEIN-*Statistik* ist der letzte positive Beitrag EINSTEINs zur Quantentheorie. Hier kann ich meine historische Übersicht abbrechen. Von nun an wurde EINSTEINs Haltung zur Weiterentwicklung der von ihm selbst geschaffenen Grundlagen der Quantentheorie immer kritischer und skeptischer.

Er hatte selbst die paradoxe Dualität Welle—Korpuskel geschaffen. Es war die Hauptaufgabe der theoretischen Physik, diesen scheinbaren Widerspruch zu beheben. Sie wurde von beiden Seiten angefaßt: Aus der BOHRschen Behandlung der Elektronenbahnen entsprang die *Matrizenmechanik*, die von HEISENBERG begründet und von ihm im Verein mit JORDAN und mir ausgearbeitet, unabhängig auch von DIRAC, entwickelt wurde, und aus DE BROGLIEs Ansätzen entsprang SCHRÖDINGERs *Wellenmechanik*. Beide Methoden wurden bald als verschiedene Darstellungen derselben Theorie erkannt.

Der Formalismus war schon weit fortgeschritten und gesichert, ehe es gelang, eine vernünftige Interpretation zu finden. Diese unterscheidet sich von der klassischen Theorie durch den Verzicht auf exakte Vorausberechnung von physikalischen Situationen; sie erlaubt nur, Wahrscheinlichkeiten zu bestimmen. Die große Majorität der Physiker hat diese statistische Auffassung akzeptiert, besonders die Experimentatoren, da sie der empirischen Lage in der Atomforschung genau entspricht.

Aber EINSTEIN hält die statistische Interpretation für unbefriedigend und hat immer wieder versucht, sie zu widerlegen. Dabei geht die Deutung des Quadrats der Wellenfunktion als Wahrscheinlichkeit auf EINSTEIN selbst zurück. Er hat ausgesprochen, daß die mittlere Dichte der Photonen in einem Lichtstrahl übereinstimmen muß mit der Energiedichte der elektromagnetischen Wellen, die diesen Strahl beschreiben. Es ist dieser selbe Gedanke, den ich 1927 zur Deutung der SCHRÖDINGERschen Wellenfunktion vorschlug und der heute, gebührend verallgemeinert, überall angewandt wird. Der scheinbare Widerspruch, der in der gleichzeitigen Anwendung von Wellen- und Teilchenvorstellung besteht, wurde durch HEISENBERGs *Unbestimmtheitsrelationen* aufgeklärt. NIELS

BOHRs Begriff der *Komplementarität* hat schließlich dem ganzen Gebäude der Quantenmechanik die erkenntnistheoretische Grundlage gegeben.

Das Photon selbst ist allerdings ein singuläres Teilchen, das keine Masse hat und sich stets mit gleicher Geschwindigkeit bewegt. Es gehört nicht in die eigentliche Quantenmechanik, sondern in die Quanten-Elektrodynamik. Schon in den ersten Arbeiten von HEISENBERG, JORDAN und mir findet sich die Quantisierung des elektromagnetischen Feldes durch Aufstellung von Vertauschungsrelationen zwischen den Feldkomponenten und als dringendste Anwendung die Ableitung der Schwankungsformel (14) für die schwarze Strahlung durch Interferenz quantisierter Wellen, wobei die beiden Glieder $n + n^2$ automatisch erscheinen. Dies ist der bescheidene Anfang, aus dem die heutige raffinierte Quanten-Elektrodynamik von TOMOJEDA, SCHWINGER, FEYNMAN u.a. entstanden ist.

Aber weder BOHRs Philosophie noch die zahllosen Erfolge der gewöhnlichen Quantenmechanik und die erstaunliche Genauigkeit der mit Hilfe der Quanten-Elektrodynamik erzielten Resultate haben EINSTEIN dazu bekehrt, diese Theorien anzuerkennen. Er leugnet nicht ihre Brauchbarkeit, sieht sie aber als unvollständige, vorläufige Aushilfsmittel an, die einmal durch etwas Besseres ersetzt werden müssen.

EINSTEINs Haltung beruht auf seinen philosophischen Überzeugungen. Ich zitiere zwei Stellen aus seinen Briefen an mich, die ich übrigens mit seiner Einwilligung in einem Buche (Natural Philosophy of Cause and Chance, Clarendon Press, Oxford 1949) veröffentlicht habe. Am 7. November 1944 schreibt er:

„In unserer wissenschaftlichen Erwartung haben wir uns zu Antipoden entwickelt. Du glaubst an den würfelnden Gott und ich an volle Gesetzlichkeit in einer Welt von etwas objektiv Seiendem, das ich auf wild spekulative Weise zu erhaschen suche. Ich hoffe, daß einer einen mehr realistischen Weg bzw. eine mehr greifbare Unterlage für eine solche Auffassung finden wird, als es mir gegeben ist. Der große anfängliche Erfolg der Quantentheorie kann mich doch nicht zum Glauben an das fundamentale Würfelspiel bringen."

Und am 3. Dezember 1947:

„Meine physikalische Haltung kann ich Dir nicht so begründen, daß Du sie irgendwie vernünftig finden würdest. Ich sehe natürlich ein, daß die prinzipiell statistische Behandlungsweise, deren Notwendigkeit im Rahmen des bestehenden Formalismus ja zuerst von Dir klar erkannt wurde, einen bedeutenden Wahrheitsgehalt hat. Ich kann aber deshalb nicht ernsthaft daran glauben, weil die Theorie mit dem Grundsatz unvereinbar ist, daß die Physik eine Wirklichkeit in Zeit und Raum darstellen soll ohne spukhafte Fernwirkungen. ... Davon bin ich fest überzeugt, daß man schließlich bei einer Theorie landen wird, deren gesetzmäßig verbundene Dinge nicht Wahrscheinlichkeiten, sondern gedachte Tatbestände sind, wie man es bis vor kurzem als selbstverständlich betrachtet hat. Zur Begründung dieser Überzeugung kann ich aber nicht logische Gründe, sondern nur meinen kleinen Finger als Zeugen beibringen, also keine Autorität, die außerhalb meiner Haut irgendwelchen Respekt einflößen kann."

Vor etwas über einem Jahr hatte ich wieder einen Briefwechsel mit EINSTEIN anläßlich einer kleinen Abhandlung, in der er denselben Gedanken — die Ablehnung der Wahrscheinlichkeit als eigentlichen Gegenstand physikalischer Theorie — an einem Beispiel entwickelte. Beim Durchdenken dieses Modells kam mir der Zweifel, ob denn die klassische Mechanik wirklich imstande sei, deterministische Aussagen zu machen. Ich habe mich inzwischen überzeugt, daß der mechanische Determinismus auf einer Annahme beruht, die der ganzen, von EINSTEIN selbst begründeten Denkweise der heutigen Physik widerspricht, nämlich dem Postulat, daß Aussagen keinen Sinn haben, die einer Prüfung durch das Experiment prinzipiell unzugänglich sind. Eine kleine Mitteilung darüber habe ich jüngst in den Physikalischen Blättern veröffentlicht. Auch die klassische Mechanik kann nicht mehr als Wahrscheinlichkeitsaussagen machen.

Dieser Einwand EINSTEINs gegen die statistische Auffassung der Quantenmechanik scheint mir daher gegenstandslos. Aber aus den zitierten Briefstellen und dem erwähnten späteren Briefwechsel geht hervor, daß es nicht so sehr die Frage des Determinismus ist, die EINSTEINs Ablehnung der heutigen Quantenphysik bedingt, sondern sein Glaube an die objektive Realität des physikalischen Geschehens, unabhängig vom Beobachter. Dies ist ein viel tieferes Problem, auf das ich hier nicht eingehen kann. Ich habe an anderer Stelle gezeigt, daß man EINSTEINs Einwänden wohl begegnen kann, indem man den Sinn der Aussagen über die Realität von physikalischen Objekten analysiert und dabei den mathematischen Begriff der Invarianz gegen Transformationen gehörig heranzieht.

EINSTEIN hat sich nicht begnügt, die statistische Interpretation der Quantenmechanik zu kritisieren, sondern unablässig versucht, eine andere Grundlage der Physik zu schaffen. Sein Ausgangspunkt war dabei die allgemeine Relativitätstheorie, die er zu verallgemeinern suchte in der Hoffnung, am Ende auf eine Erklärung der Quantenphänomene und der Elementarteilchen zu stoßen. Positive Ergebnisse hat er nicht erzielt, und die Physiker haben wenig Notiz genommen von seinen großen und schwierigen Arbeiten.

Dadurch ist EINSTEIN in eine Isolierung geraten, die tragisch wäre, wenn nicht sein heiteres, optimistisches Temperament ihn vor Bitterkeit bewahrte. Er war ja immer ein Einzelgänger. Er suchte Erkenntnis zu seiner eigenen Befriedigung, nicht für materielle Vorteile oder Ruhm. Die Tragik seines Lebens ist die Tragik unserer Wissenschaft als Ganzes, der Mißbrauch der Erkenntnis im politischen Machtkampf der Völker. Was er darüber denkt, mag ein kurzer Brief an den Herausgeber der amerikanischen Zeitschrift „The Reporter" beleuchten:

„Sie haben mich gefragt, was ich über Ihre Aufsätze betreffs der Lage der Naturforscher in Amerika denke. Anstatt zu versuchen, das Problem zu analysieren, darf ich mein Gefühl in einer kurzen Bemerkung ausdrücken: Wäre ich wieder ein junger Mann und hätte einen Lebensberuf zu wählen, so würde ich nicht versuchen, ein Wissenschaftler, ein Gelehrter oder ein Lehrer zu werden. Ich würde vorziehen, ein Klempner oder Hausierer zu sein in der Hoffnung, so das geringe Maß von Unabhängigkeit

zu finden, das unter den heutigen Umständen noch erreichbar ist."

Das ist derselbe Gedanke, den er mir schon in der verhältnismäßig harmlosen Zeit vor 40 Jahren als Rat an junge Physiker empfahl. Es gibt wohl kaum eine bescheidenere und zugleich schärfere Form der Absage an den heutigen Wissenschaftsbetrieb, welcher nicht mehr dem Geiste dient, sondern den Mächten dieser Welt. Doch das gehört nicht zu unserem Thema.

Eine Würdigung von EINSTEIN als Forscher und Denker wäre jedoch unvollständig, ohne wenigstens ein Streiflicht zu werfen auf EINSTEIN, den Menschen. Lassen Sie mich schließen mit ein paar Sätzen aus einem Briefe an mich:

„Das Gefühl für das, was sein soll und was nicht sein soll, wächst und stirbt wie ein Baum, und keine Art Dünger wird sehr viel dabei ausrichten. Was der einzelne tun kann, ist nur ein sauberes Beispiel zu geben und den Mut zu haben, ethische Überzeugungen in der Gesellschaft von Zynikern ernsthaft zu vertreten. Seit langem habe ich danach gestrebt, mich demgemäß zu verhalten — mit wechselndem Erfolg."

Das sind Worte der Resignation von einem, der auch im Menschlichen an Vorherbestimmung glaubt, aber die Wirkung der ethischen Persönlichkeit mit einrechnet. Es ist eine merkwürdige Art, die moralische Freiheit zu retten, philosophisch vielleicht sehr anfechtbar. Aber auch EINSTEINs Philosophie der Physik scheint mir anfechtbar. Das hat unserer Freundschaft keinen Abbruch getan, denn nicht auf Doktrinen kommt es an, sondern auf Sauberkeit und Ehrlichkeit im Denken und Fühlen. Und in beiden verehren wir ihn als Vorbild und Meister.

Anhang.

A. Für jedes thermodynamische System gilt bei konstantem Volumen

$$dS = \frac{dU}{T} = k\beta\, dU; \tag{1}$$

daher

$$-k\gamma = \frac{d^2S}{dU^2} = \frac{d}{dU}(k\beta) = k\frac{d\beta}{dU},$$

$$\gamma = -\left(\frac{dU}{d\beta}\right)^{-1}. \tag{2}$$

B. Setzt man nun mit PLANCK

$$\frac{du}{d\beta} = -u^2 - \varepsilon_0 u, \tag{3}$$

so folgt durch elementare Integration mit der Grenzbedingung, daß für $\beta = 0$ das RAYLEIGHsche Gesetz $u = \beta^{-1}$ herauskommt,

$$u = \frac{\varepsilon_0}{e^{\beta\varepsilon_0} - 1}. \tag{4}$$

Aus dem WIENschen Verschiebungsgesetz $\varrho = \nu^3 f(\nu/T)$ folgt für $u = \varrho\, c^3/8\pi\nu^2$

$$u = \nu F(\nu\beta); \tag{5}$$

also muß

$$\varepsilon_0 = h\nu \tag{6}$$

sein.

C. (7) ist eine GAUSS-Verteilung in der Variabeln $\Delta E = x$. Wenn man die Gesamtwahrscheinlichkeit auf 1 normiert,

$$\int_{-\infty}^{\infty} P\, dx = P_0 \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\gamma x^2}\, dx = P_0 \sqrt{\frac{2\pi}{\gamma}} = 1, \tag{7}$$

so muß $P_0 = \sqrt{\frac{\gamma}{2\pi}}$ sein, so daß

$$P(x) = \sqrt{\frac{\gamma}{2\pi}}\, e^{-\frac{1}{2}\gamma x^2} \tag{8}$$

ist. Daraus erhält man die Mittelwerte

$$\overline{\Delta E} = \bar{x} = \int_{-\infty}^{\infty} x P(x)\, dx = 0,$$

$$\overline{(\Delta E)^2} = \overline{x^2} =$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2 P(x) dx = \sqrt{\frac{\gamma}{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{-\frac{1}{2}\gamma x^2}\, dx = \frac{1}{\gamma}. \tag{9}$$

Literatur.

[1] PLANCK, M.: Verh. dtsch. phys. Ges. **2**, 202 (1900). — [2] PLANCK, M.: Verh. dtsch. phys. Ges. **2**, 237 (1900). — [3] EINSTEIN, ALBERT: Ann. Phys. **17**, 132 (1905); **20**, 199 (1906). — Phys. Z. **10**, 185, 817 (1909). — [4] EINSTEIN, A.: Ann. Phys. **22**, 180 (1907). — [5] EINSTEIN, A.: Mitt. phys. Ges. Zürich **1916**, Nr. 18. — Phys. Z. **18**, 121 (1917). — [6] EINSTEIN, A.: Ber. dtsch. phys. Ges. **18**, 318 (1916). — [7] EINSTEIN, A.: Sitzgsber. preuß. Akad. Berlin **1924**, 261; **1925**, 3, 18.

Bad Pyrmont.

Eingegangen am 21. März 1955.

Die Geschichte der Relativitätstheorie *).

Von LEOPOLD INFELD, Warschau.

In diesem Jahre wird die Relativitätstheorie (RT) ein halbes Jahrhundert alt. Heute wird sie von den Physikern bereits als eine klassische Theorie betrachtet, und die Zeiten, in denen sie bestritten und angegriffen wurde, scheinen längst vergangen zu sein. Dies gilt für die spezielle RT, ist aber nicht ganz richtig, wenn es sich um die allgemeine RT handelt. Ich möchte hier einen Satz aus der Vorrede zitieren, die Professor v. LAUE im Jahre 1921 zu seinem Werke über die allgemeine RT schrieb. Wir lesen dort: „Bewundert viel und viel gescholten — so steht die allgemeine RT heute da. Die lautesten Schreier auf beiden Seiten haben dabei gemeinsam, daß sie von ihr herzlich wenig verstehen."

Dieser Satz ist heute viel weniger wahr als im Jahre 1921. Es ist aber noch heute wahr, daß, während es bei den Physikern keine ernsthaften Gegner der speziellen RT gibt, die allgemeine RT von manchen nicht anerkannt wird; die einen bevorzugen eine andere Theorie der Gravitation, und einige möchten die Interpretation der EINSTEINschen allgemeinen RT ändern.

Betrachtet man den Einfluß auf die Entwicklung der Physik, so ist die spezielle RT viel wichtiger; als

*) Vortrag, gehalten auf der Sitzung der Physikalischen Gesellschaft in der DDR am 19. März 1955 in Berlin.

Errungenschaft des menschlichen Geistes hat die allgemeine größere Bedeutung. Ich möchte hier ein Gespräch anführen, das ich mit EINSTEIN über dieses Thema hatte. Ich sagte zu ihm in Princeton: „Ich glaube, daß die spezielle RT auch dann — und ohne große Verzögerung — formuliert worden wäre, wenn *Sie* es nicht getan hätten. Tatsächlich war POINCARÉ der Wahrheit der speziellen RT sehr nahe." EINSTEIN erwiderte: „Ja, das ist wahr, doch trifft das nicht für die allgemeine RT zu. Ich zweifle, ob sie bis heute bekanntgeworden wäre."

Die allgemeine RT erwuchs aus der speziellen Theorie. Wenn wir die geschichtliche Entwicklung der RT in den letzten 50 Jahren überblicken wollen, dann müssen wir doch der allgemeinen Theorie mehr Zeit widmen als der speziellen, weil es sehr schwer ist, über die spezielle RT etwas zu sagen, was nicht jeder theoretische und sogar jeder experimentelle Physiker schon weiß. Die allgemeine RT ist dagegen viel weniger bekannt; man kann Physik treiben, ohne sie zu kennen; sie ist von manchen Physikern als formal und wenig mit dem Experiment verbunden verschrien; die drei Verifikationen — so sagen manche Physiker — sind zweifelhaft und die Tatsachen, auf die sie sich beziehen, uninteressant!

Ich gehöre zu denjenigen Physikern, die glauben, daß solche Urteile falsch sind. Ich glaube, daß die allgemeine RT das Gravitationsproblem löst, daß sie ein wunderschönes Beispiel einer nichtlinearen Feldtheorie bildet, daß ihr Einfluß auf andere Zweige der Physik steigen wird. Ich glaube aber nicht, daß von ihr das Verständnis der Struktur der Elementarteilchen kommen kann.

Nach diesen Vorbemerkungen beginnen wir mit unserem kurzen Überblick über die Geschichte der RT; er wird weder vollständig noch objektiv sein. Der Gegenstand erlaubt keine Objektivität und die vorgeschriebene Zeitspanne meines Vortrages keine Vollständigkeit.

Der im Jahre 1905 gedruckte 17. Band der *Annalen der Physik* enthält EINSTEINs 30 Seiten lange Arbeit „Zur Elektrodynamik bewegter Körper". Der Titel klingt bescheiden, doch bemerken wir beim Lesen sogleich, daß die Arbeit sich von anderen ähnlicher Art unterscheidet. Sie enthält absolut keine Literaturhinweise, keine Autoritäten werden zitiert, und die wenigen Fußnoten haben bloß einen erklärenden Charakter. Der Stil der Arbeit ist sehr einfach, und ein großer Teil ihres Inhalts kann ohne fortgeschrittene Fachkenntnisse verstanden werden. Man wundert sich fast, daß diese Arbeit, die so sehr in ihrer Form von den üblichen verschieden ist, von dem Referenten, falls es einen gegeben hat, durchgelassen wurde; besonders, da völliges Verständnis eine Tiefe des Denkens erfordert, die seltener und wertvoller ist als pedantisches Wissen. Auch heute haben die Darstellungsweise und der Stil der Arbeit nichts an ihrer Frische verloren. Sie ist immer noch eine der besten Quellen für das Studium der RT. Der Verfasser der Arbeit war ein Außenseiter; er gehörte nicht einmal zum Stand der Hochschullehrer. Damals, vor 50 Jahren, war er ein junger Doktor der Philosophie, 26 Jahre alt, Angestellter des Eidgenössischen Patentamtes in Bern. Im zweiten Abschnitt dieser Arbeit lesen wir:

„1. Die Gesetze, nach denen sich die Zustände der physikalischen Systeme ändern, sind unabhängig davon, auf welche von zwei relativ zueinander in gleichförmiger Translationsbewegung befindlichen Koordinatensystemen diese Zustandsänderungen bezogen werden.

2. Jeder Lichtstrahl bewegt sich im ‚ruhenden' Koordinatensystem mit der bestimmten Geschwindigkeit C, unabhängig davon, ob dieser Lichtstrahl von einem ruhenden oder bewegten Körper emittiert wird."

Dies sind die zwei Postulate — das verallgemeinerte GALILEIsche Relativitätsprinzip und das Prinzip der konstanten Lichggeschwindigkeit —, aus denen, wie bekannt, die LORENTZ-Transformation folgt. Das sind die Grundlagen, auf welchen die spezielle RT errichtet worden ist. Dies sind die Annahmen, die zu einer radikalen Revision unserer Grundbegriffe von Raum und Zeit führten.

Im nächsten Bande der „Annalen der Physik" erschien eine kurze Arbeit von EINSTEIN unter dem Titel: „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?" Wenn ich die in dieser Arbeit ausgesprochenen Gedanken als welterschütternd bezeichnen würde, so wäre dies keine Übertreibung, denn hier finden wir zum erstenmal die theoretische Fassung einer möglichen neuen Erscheinung, die einen unbegrenzten Ausblick für die Wissenschaft und die Technik eröffnet hat. Dieser kurze Artikel erklärt: die Anwendung der Atomenergie ist im Prinzip möglich. 40 Jahre später wurde bewiesen, daß die Verwendung der Atomenergie für den Krieg möglich ist. Der Beweis war so deutlich durch die Zerstörung von Hiroshima und Nagasaki und den jähen Tod von 200000 Menschen. Etwa 50 Jahre später wurde der Beweis erbracht, daß die Atomenergie auch für das Wohl der Menschheit benützt werden kann. Es liegt eine bittere Ironie darin, daß der Keim für beide Verwendungsarten der Atomenergie vom friedlichsten Mann der Welt gesät wurde — von einem einsamen Mann, der Gewalttätigkeit verabscheut und rohe Kraft verachtet. Es ist eine bittere Ironie, daß die zerstörende Kraft der Atomenergie zwei Städte und viele Menschenleben vernichtet hat, bevor 10 Jahre später in der Sowjetunion das erste, kleine Elektrizitätswerk geschaffen wurde.

Der Schluß von EINSTEINs kurzem Artikel enthält folgende Zeilen: „Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energieinhalt: ändert sich die Energie um L, so ändert sich dadurch die Masse in demselben Sinn um $L/(9 \cdot 10^{20})$, wenn die Energie in Erg und die Masse in Gramm gemessen werden. Es ist nicht ausgeschlossen, daß bei Körpern, deren Energieinhalt in hohem Maß veränderlich ist (z.B. den Radiumsalzen), eine Prüfung der Theorie gelingen wird."

Welche Wirkung hatten diese zwei Arbeiten? Zunächst gab es keine große Wirkung. Heutzutage werden wichtige Arbeiten schneller erkannt, und eine umwälzende Arbeit ruft oft eine Flut neuer Beiträge zu demselben Problem hervor — obwohl die Geschichte der Wissenschaft unseres Jahrhunderts auch Gegenbeispiele kennt; z.B. die 2 Jahre dauernde Stille nach den ersten Arbeiten von DE BROGLIE. Ähnlich wurden EINSTEINs Arbeiten empfangen. Freilich sind in Deutschland drei Arbeiten über die RT von MAX PLANCK bereits 1906 und eine große und umfassende Arbeit desselben Autors 1908 erschienen; auch hat

MAX VON LAUE 1907 eine relativistische Arbeit veröffentlicht. Aber die große Flut von Abhandlungen über die RT setzt erst etwa 4 Jahre später ein, um 1909; es war sicherlich eine lange Zeit, bis die Physiker eine der wichtigsten Abhandlungen, die je erschienen sind, zur allgemeinen Kenntnis genommen hatten.

Ich weiß, daß es auch außerhalb Deutschlands vereinzelt Physiker gab, die in der Zwischenzeit EINSTEINs Arbeit sehr sorgfältig gelesen und in ihr die Geburt eines unendlich weitblickenden Gedankens erkannt hatten. Mein Freund, Professor LORIA in Polen, hat mir erzählt, wie sein Lehrer, Professor WITKOWSKI in Kraków, ein Physiker von großer Bildung und feinem Geschmack, nachdem er EINSTEINs Arbeiten gelesen hatte, mit Begeisterung zu LORIA sagte: „Lesen Sie EINSTEINs Arbeiten! Hier ist ein neuer Kopernikus!"

Aber erst um das Jahr 1909 wurde die Aufmerksamkeit einer größeren Anzahl von Physikern auf EINSTEINs Ergebnisse gelenkt. Einer der Umstände, die dazu beitrugen, die RT bekannter zu machen, war das Erscheinen des Vortrages von MINKOWSKI „Raum und Zeit" im Jahre 1908. Der berühmte Vortrag, den MINKOWSKI auf der 80. Versammlung der „Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte" hielt, war wohl sein letzter öffentlicher Vortrag, denn er starb kurz darauf, allzufrüh. Die ersten Worte des Vortrages von MINKOWSKI waren eine prophetische Voraussage des tiefen Einflusses, den die Gedanken EINSTEINs auf das moderne Denken ausüben sollten: „Meine Herren! Die Anschauungen über Raum und Zeit, die ich Ihnen entwickeln möchte, sind auf experimentell physikalischem Boden erwachsen. Darin liegt ihre Stärke. Ihre Tendenz ist eine radikale. Von Stund an sollen Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken, und nur eine Art Union soll Selbständigkeit bewahren."

Das mathematische Genie von MINKOWSKI brachte EINSTEINs Gedanken in eine neue geometrische Form, die ihre Schönheit und Einfachheit vollends offenbarte. Wir wissen seit MINKOWSKIs Arbeiten, daß alle Naturgesetze sich in einer vektoriellen oder tensoriellen Form darstellen lassen, wo die Vektoren und Tensoren Gebilde in einer vierdimensionalen Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit sind. Die weitere Entwicklung hat den Vektoren und Tensoren noch Spinoren beigegeben.

Vom historischen Standpunkt aus ist der weitere Aufbau der speziellen RT mit dem der allgemeinen RT verbunden. Da wir hier diese zwei RT auseinander halten wollen, möchte ich nur einige Worte über die spezielle RT sagen, um dann ungestört zur allgemeinen RT übergehen zu können. Der weitere Aufbau und die Entwicklung der speziellen RT ist ein Triumphzug durch die Bahnen unserer Erkenntnis. In der Tat, ich möchte nur drei Phänomene erwähnen, die eine glänzende Verifikation der speziellen RT bilden, die Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit, die schönen Experimente von IVES über die Änderung des Rhythmus einer bewegten Uhr und die Abhängigkeit der Lebenszeit der Mesonen von ihrer Geschwindigkeit. Diese Experimente sprechen neben vielen anderen für die spezielle RT, und kein einziges Experiment spricht dagegen.

Die Geschichte der zwei größten Triumphe unseres Jahrhunderts in der Voraussage gewisser Ereignisse ist mit der Geschichte der speziellen RT eng verbunden. Ich denke nämlich an die DE BROGLIE-Welle und an die Theorie des Positrons. Die Voraussage der Existenz der DE BROGLIE-Welle ist mit der LORENTZ-Transformation innig verbunden, und ebenso ist es die Theorie des Positrons mit der relativistischen Gestalt der DIRACschen Gleichungen für das Elektron.

Ich möchte hier noch ein Phänomen erwähnen, das Ihnen höchstwahrscheinlich unbekannt ist, da die volle Arbeit darüber noch nicht erschienen ist. Ein junger polnischer Physiker, WERLE, hat gezeigt, daß aus der relativistischen Form der Bewegungsgleichungen eines Nukleons seine Abstoßung von einem zweiten Nukleon folgt, wenn die beiden Nukleonen einander sehr nahe sind, und wenn man das Mesonfeld als Skalar oder Pseudoskalar, aber nicht vektoriell annimmt. Das ist ein rein relativistischer Effekt. JASTROWs und LEVYs Annahme kann daher mit Hilfe der speziellen RT deduziert werden, und zwar aus den Feldgleichungen des Mesonfeldes.

Nun verlassen wir die spezielle RT, um zur allgemeinen RT überzugehen. Seit seinem 15. oder 16. Lebensjahre hat EINSTEIN, wie er mir öfters erzählte, sich mit folgenden zwei Fragen beschäftigt:

1. Was geschieht, wenn jemand einem Lichtstrahl nachläuft und ihn fangen will?

2. Was geschieht, wenn jemand sich in einem frei fallenden Fahrstuhl befindet?

Aus der Antwort auf die erste Frage erwuchs die spezielle, aus der Antwort auf die zweite die allgemeine RT. Die spezielle RT lag in der Luft. Die von ihr beseitigten Widersprüche waren den Physikern bekannt. POINCARÉ war 1904 der Formulierung der speziellen RT sehr nahe. Die Wunden am Körper der Physik waren für viele sichtbar. Doch traf dies nicht auf die allgemeine RT zu. EINSTEIN war der einzige, der noch immer Schwierigkeiten sah und an ihrer Beseitigung arbeitete. Die allgemeine RT glich dem Heilmittel für eine ernste Krankheit, die niemandem außer EINSTEIN auffiel. Sogar PLANCK sagte zu EINSTEIN: „Alles ist jetzt so schön erklärt, warum kümmern Sie sich um diese anderen Probleme?" Und doch kümmerte sich EINSTEIN darum, und zwar ganz für sich allein. Acht Jahre liegen zwischen der speziellen und der allgemeinen RT, 8 Jahre ständigen Denkens, das schließlich in der neuen Lösung des großen Problems der Schwerkraft Früchte trug.

Die erste Arbeit, die das Problem der Gravitation angreift, ist 1911 in den „Annalen der Physik" unter dem Titel „Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes" erschienen. Es ist eine sehr interessante Arbeit. Sie enthält Gedankengänge EINSTEINs, die teilweise falsch sind. Sie enthält Halbwahrheiten, Vermutungen, eine verschwommene Bewußtheit, daß die wirkliche Wahrheit zwar nicht weit entfernt, doch ganz anders ist. Sie zeigt den ersten Lichtschimmer beim Durchbruch durch die Dunkelheit. Sie zeigt auch EINSTEINs Leidenschaft für Gedankenexperimente und seine kindliche Fähigkeit, über einfache Dinge zu staunen — über Dinge, die so einfach und vertraut sind, daß sie von anderen völlig unbemerkt bleiben.

Seit GALILEI haben die Physiker gewußt, daß alle Körper mit der gleichen Beschleunigung fallen. Niemand in unserem Jahrhundert, ausgenommen EINSTEIN, wunderte sich noch über dieses Gesetz. Das Experiment hat gezeigt, daß das Gesetz streng gültig

ist, und mit diesem Satze hatte man geglaubt, das Problem erledigt zu haben.

Der Unterricht tötet unsere Fähigkeit, uns zu wundern. Nur ein Genie kann unverdorben davon bleiben. In den letzten 3 Jahrhunderten der Entwicklung der Wissenschaft war EINSTEIN der erste, der in der Gleichheit der Beschleunigungen einen wichtigen Fingerzeig sah. Wir können uns ja eine Welt vorstellen, in der ein solches Gesetz nicht gilt; eine Welt, in der Elefanten so langsam fallen, daß sie fast durch die Luft schweben, während Säuglinge mit gefährlicher Beschleunigung zu Boden stürzen. Aber das Schwerefeld unserer Erde veranlaßt Säuglinge und Elefanten, mit der gleichen Beschleunigung zu fallen. Was bedeutet dieser wichtige Fingerzeig über die Gleichheit der trägen und der Gravitationsmasse? Im Rahmen der klassischen Mechanik erscheint diese Gleichheit als ein reiner Zufall.

Ich erwähnte vorher, daß das Bild des Mannes im fallenden Aufzug, über welches EINSTEIN schon als junger Knabe nachgedacht hatte, ihn nach mehreren Jahren zu dem Gedankenkreis der allgemeinen RT führte. In EINSTEINs Arbeit, von der wir jetzt sprechen, finden wir implizite das Bild des Mannes im fallenden Aufzug; hier, von diesem Beispiel, ist die Lichtablenkung im Gravitationsfelde abgeleitet worden! Der auf diese Weise berechnete Zahlenwert der Lichtablenkung ist zu klein. EINSTEIN verfügte noch nicht über die volle Kenntnis der allgemeinen RT. Er sollte sie während der nächsten 4 Jahre gewinnen, als er zu seinen Berechnungen zurückkehrte und sie verbesserte. Aber die Voraussage dieses Effektes erschien bereits in EINSTEINs Arbeit aus dem Jahre 1911. Er beendete sie mit den folgenden denkwürdigen Worten: „Es wäre dringend zu wünschen, daß sich Astronomen der hier aufgerollten Frage annähmen, auch wenn die im Vorigen gegebenen Überlegungen ungenügend fundiert oder ganz abenteuerlich erscheinen sollten. Denn abgesehen von jeder Theorie muß man sich fragen, ob mit den heutigen Mitteln ein Einfluß der Gravitationsfelder auf die Ausbreitung des Lichtes sich konstatieren läßt."

Acht Jahre vergingen, bis eine Antwort auf die von EINSTEIN gestellte Frage kam. Inzwischen übersiedelte EINSTEIN von Prag nach Zürich, dann von Zürich nach Berlin. Hier war er, als der erste Weltkrieg ausbrach, und hier beendigte er seine Arbeit über die allgemeine RT. Die Anerkennung der RT verbreitete sich langsam von den theoretischen zu den experimentellen Physikern, Astronomen, Mathematikern und Philosophen. Sie wurde als ein äußerst schwieriger Gegenstand betrachtet. Man hat mir in Cambridge erzählt, daß im Jahre 1917, während des Krieges, Sir ARTHUR EDDINGTON einen Vortrag über die allgemeine RT hielt. Nach dem Vortrag bemerkte ein Physiker zu Sir ARTHUR: „Das war ein wunderschöner Vortrag. Sie sind einer der drei Menschen in der Welt, die die allgemeine RT kennen und verstehen." Als auf EDDINGTONs Gesicht ein zweifelnder Ausdruck erschien, bemerkte der Physiker: „Herr Professor, Sie sollten nicht verlegen werden; Sie sind zu bescheiden." Sir ARTHUR antwortete: „Ich bin nicht verlegen; ich denke nur darüber nach, wer der dritte ist."

Das Verständnis der allgemeinen RT verlangte die Kenntnis von mathematischen Methoden, die zu jener Zeit weder allgemein bekannt noch hinreichend entwickelt waren. Tatsächlich beeinflußte die allgemeine RT die weitere Entwicklung der RIEMANNschen und später nicht-RIEMANNschen Geometrie. Die RT regte das Wachstum dieser Zweige der Mathematik stark an. Nach dem ersten Weltkrieg verbreitete sich die Kenntnis der allgemeinen RT in England, in der Sowjetunion und in anderen Ländern. 1919 wurden zwei englische Expeditionen organisiert, die eine nach Sobral in Brasilien, die andere nach Principe an der afrikanischen Küste, um während einer Sonnenfinsternis zu beobachten, ob sich die von den Sternen ausgesandten Lichtstrahlen im Schwerefeld der Sonne biegen, und ob dieser Effekt zahlenmäßig mit jenem übereinstimmt, den die allgemeine RT voraussah. Die Ergebnisse, wie sie damals mitgeteilt wurden, schienen EINSTEINs Vorhersage glänzend zu bestätigen. Obwohl spätere Messungen diese Übereinstimmung zu verderben schienen, so besteht doch heutzutage kein Zweifel daran, daß Lichtstrahlen wirklich durch das Schwerefeld abgelenkt werden.

Die Erscheinung der sich im Schwerefeld der Sonne biegenden Strahlen faszinierte plötzlich die ganze zivilisierte Welt. Bald nach 1920 wurde EINSTEIN, der bescheidenste Mann, zum weltberühmtesten Gelehrten. Ich glaube, daß der Grund für den plötzlich aufsteigenden Ruhm EINSTEINs in der Sehnsucht der Menschheit nach Frieden lag. Hier war ein Naturphänomen, so erhaben und geheimnisvoll wie der mit Sternen bedeckte Himmel während einer Sonnenfinsternis. Hier war ein Naturereignis, dessen Theorie ein deutscher Professor formuliert und englische Gelehrte wahr gefunden hatten. Hier gab es eine Zusammenarbeit von Gelehrten zweier Nationen, die noch vor 2 Jahren miteinander gekämpft hatten. Meiner Meinung nach war das auch der Grund, warum die Kräfte der Reaktion EINSTEIN bekämpften. EINSTEIN war wohl der berühmteste Mann der Welt, der meistgepriesene und meistverlachte. Er blieb gegen beide Auswirkungen ebenso gleichgültig wie gegen andere Einzelheiten des äußeren Lebens. Vielleicht war er sich dieses plötzlichen Ruhmes weniger bewußt als irgend jemand anderer.

Die Entwicklung der allgemeinen RT schritt verhältnismäßig langsam fort, als sie von EINSTEIN in den „Berichten der Preußischen Akademie" formuliert und umformuliert wurde. Mehr als einmal mußte EINSTEIN wieder auf seine eigene Spur zurückgehen und Fehler verbessern, als er tiefer und tiefer in das Problem der Gravitation eindrang. Um das Jahr 1916 war das Gebäude der allgemeinen RT vollendet, und die Theorie wurde nochmals in einer längeren Arbeit zusammengefaßt, die in den „Annalen der Physik" unter dem Titel „Die Grundlagen der allgemeinen RT" erschien. Später wurden keine prinzipiellen Änderungen mehr vorgenommen, obwohl viele Ergebnisse hinzugefügt und weiterentwickelt wurden.

Unter den Schlüssen, die aus der allgemeinen RT, im Gegensatz zur klassischen Mechanik, gezogen werden können, befindet sich einer, der wohlbekannt ist: die Perihelbewegung des Planeten Merkur. Im Jahre 1916 bildete sie die erste Bestätigung der allgemeinen RT. Dieser Schluß wurde zu jener Zeit durch den berühmten Astronomen SCHWARZSCHILD aus EINSTEINs Gleichungen streng abgeleitet. In gewisser Hinsicht aber bedeutet diese Behauptung eine allzu

große Vereinfachung. Die vollständige Geschichte dieses Problems ist komplizierter. Ich werde darüber kurz berichten.

Die allgemeine RT in ihrer um das Jahr 1916 formulierten Form ruhte auf zwei Stützpfeilern. Der eine bestand aus den Feldgleichungen; das sind die Gleichungen, die die Veränderungen des Schwerefeldes oder, wenn man das vorzieht, des geometrischen Feldes in Raum und Zeit beschreiben. Der andere stellte die Bewegungsgleichungen dar, die uns darüber unterrichten, wie ein Körper sich in einem solchen Schwerefeld bewegt. Diese Gleichungen, d.h. die Gleichungen der geodätischen Linie, ersetzen die alten NEWTONschen Bewegungsgleichungen, in denen die Schwerkraft der Beschleunigung proportional ist. Aber jetzt, in der allgemeinen RT, gelten die Bewegungsgleichungen, ebenso wie alle Naturgesetze, nicht nur in einem Trägheitssystem, sondern in einem beliebigen System.

Wenn wir also z.B. die Bewegung eines Planeten im Schwerefeld der Sonne aufzufinden wünschen, müssen wir zuerst das Schwerefeld der Sonne durch die Feldgleichungen der allgemeinen RT finden. Sodann müssen wir die Bewegungsgleichungen auf dieses bekannte Feld anwenden und die Bewegung des Planeten ausfindig machen. Genau das führte SCHWARZSCHILD mit großem mathematischem Geschick durch. Aber sein Ergebnis ist nur in dem Fall gültig, daß der Planet im Vergleich zur Sonne sehr klein ist. Was geschieht aber im Falle der Doppelsterne, d.h., was geschieht im Falle eines Zwei-Körper- und nicht eines Ein-Körper-Problems? Dann können wir die SCHWARZSCHILDsche Methode nicht anwenden. Dann nützt uns der zweite Stützpfeiler der allgemeinen RT nichts!

Wir haben zwar Feldgleichungen und Bewegungsgleichungen, aber die Bewegungsgleichungen besitzen nur eine begrenzte Gültigkeit. Bis 1938 kannten wir keine Lösung für das Bewegungsproblem von Doppelsternen nach der allgemeinen RT, obwohl die Lösung dieses Problems nach der klassischen Mechanik fast trivial ist; es ist kaum schwieriger als das Einkörperproblem, d.h. das Problem einer Sonne und eines leichten Planeten.

Schon lange war EINSTEIN der Ansicht, daß Bewegungsgleichungen in der allgemeinen RT unnötig sind, daß solche Gleichungen nicht angenommen werden müssen, daß sie aus den Feldgleichungen abgeleitet werden können, daß wir auf die Bewegungsgleichungen verzichten und sie weglassen können, daß der einzige Pfeiler, auf dem die allgemeine RT ruht, aus den Feldgleichungen allein besteht.

Dies stellte sich als richtig heraus, aber der Beweis erforderte eine lange Zeit. Alle technischen Mittel dazu befanden sich um das Jahr 1916 in der Hand der Mathematiker und Physiker. Sie kannten die Feldgleichungen. Es mußte nur erwiesen werden, daß die Feldgleichungen schon die Bewegungsgleichungen enthalten. Es war, als grabe man nach einem tief vergrabenen Schatz, dessen Versteck man kannte. EINSTEIN nahm dieses Problem wiederholt in Angriff, ließ es wieder fallen, um auf viele andere überzugehen, und kam wieder zu diesem Problem zurück. Inzwischen kam Hitler zur Macht. EINSTEIN verließ Berlin und ließ sich 1933 als Professor am „Institute for Advanced Study" in Princeton nieder. Zum erstenmal wurden die richtigen Gleichungen für die Bewegung der Doppelsterne in der Näherung, die einen Schritt weiter als die NEWTONsche geht, im Jahre 1938 aus den Feldgleichungen der RT deduziert.

Ich habe vorhin gesagt, daß mein Vortrag weder vollständig noch objektiv sein wird. Ich möchte jetzt nur ordnungshalber die wichtigsten Themen, die hier fehlen, aufzählen: Eine Darstellung des dritten Effektes, d.h. der Rotverschiebung, die Geschichte der kosmologischen Anwendungen der allgemeinen RT und die Suche nach der einheitlichen Theorie, welcher EINSTEIN 35 Jahre seines Lebens geopfert hat und an der er noch jetzt arbeitet. Die Wahl der Probleme, die ich in meiner kurzen Übersicht der geschichtlichen Entwicklung der RT getroffen habe, war selbstverständlich subjektiv.

Eine Frage, die ich hier noch zu beantworten versuchen möchte, ist die folgende: Was denkt die Welt der Physiker über die allgemeine RT? Ich glaube, die meisten Physiker werden zugeben, daß sie die einzige vernünftige und schöne Theorie des Gravitationsfeldes ist. Es gibt zwar einige andere Theorien, doch werden sie von der EINSTEINschen Theorie durch ihre Schönheit, Tiefe und logische Geschlossenheit übertroffen. Manche dieser anderen Theorien ergeben die Perihelbewegung des Planeten Merkur nur durch Spezialisierung einer Konstante, die in ihnen auftritt. Die EINSTEINsche Theorie hingegen, und dies ist ein gewaltiger Vorteil, benutzt keine neuen Konstanten. Meistens nehmen diese anderen Theorien der Gravitation das Inertialsystem der speziellen RT an; in manchen von ihnen bewegt sich der Schwerpunkt des Doppelsternes mit einer Beschleunigung! Dahingegen verhält er sich in der EINSTEINschen allgemeinen RT vernünftig, d.h., er bewegt sich nur mit gleichmäßiger Geschwindigkeit. Für die Physiker, die ihre eigene Theorie der Gravitation haben, ist die EINSTEINsche Theorie zu radikal. Aber ich glaube, daß ihre Stärke gerade darin liegt. In der Tat hat die EINSTEINsche Theorie der Gravitation keine ernste Konkurrenz. Die allgemeine RT ist 40 Jahre alt! Die um dieselbe Zeit verfaßte BOHRsche Theorie des Atoms wurde nach 12 Lebensjahren durch die SCHRÖDINGERsche und HEISENBERGsche Theorie überholt. Es ist bemerkenswert, daß nach 40 Jahren ihrer Existenz die EINSTEINsche Theorie noch eine lebendige Theorie ist, daß noch wichtige Arbeiten in diesem Gebiet erscheinen, obwohl sie nicht im Mittelpunkt des Interesses der Physiker steht.

Es existiert, wie ich gesagt habe, eine sehr kleine Gruppe von Physikern, die aus verschiedenen Gründen andere Theorien der Gravitation bevorzugen. Es existiert aber eine größere Gruppe von Physikern, die zwar das mathematische Gerüst der allgemeinen RT annehmen, aber mit der EINSTEINschen Interpretation der prinzipiellen Begriffe nicht im Einklange sind. Die wesentlichen zwei Ideen der allgemeinen RT sind die folgenden:

1. Das Gravitationsfeld und das metrische Feld sind identisch.

2. Das allgemeine Relativitätsprinzip gilt, d.h., alle Transformationen sind erlaubt.

Beide Ideen werden von manchen Physikern bestritten. Manche Physiker, die mit den EINSTEINschen Feldgleichungen einverstanden sind, sehen in ihnen nur Gleichungen zur Bestimmung des Gravitationsfeldes, während das metrische Feld für sie pseudoeuklidisch bleibt. Andere Physiker glauben nicht an

das allgemeine Relativitätsprinzip, und zwar im folgenden Sinne: sie nehmen Koordinatenbedingungen an, die eine Gruppe mit einer LORENTZ-Transformation verbundener Koordinatensysteme bevorzugen. Die Koordinatenbedingungen werden zu den Feldgleichungen addiert.

Mein Vortrag ist keine Polemik. Allerdings möchte ich hier bemerken, daß EINSTEIN meint, der Schwerpunkt seiner Theorie liege gerade in der Annahme beider Punkte und ganz speziell in der Annahme des allgemeinen Relativitätsprinzips. Die Änderung dieser Annahmen bedeutet, nach EINSTEIN, einen Rückzug von den Ideen, die die allgemeine RT gebar.

Nur noch eine Bemerkung, bevor ich schließe. EINSTEINs Forschungsergebnisse haben schon heute das Geschehen in der Welt im materiellen Sinne tiefgehend beeinflußt und schwerwiegende Fragen politischer und moralischer Natur aufgeworfen. Die Entwicklungsgeschichte der Atomenergie begann mit EINSTEINs Äquivalenzbeziehung zwischen Masse und Energie. EINSTEIN gehörte zu den ersten, die sich nach der Entdeckung der Kernspaltung des Urans der ungeheuren Möglichkeit der Atomenergie und der Gefahr ihres Mißbrauches bewußt wurden.

Seit Jahren nun kämpft EINSTEIN leidenschaftlich gegen den Mißbrauch der Atomenergie zum Massenmord und für die Aufrechterhaltung des Weltfriedens. In seiner Botschaft, die er nach dem Kriege an das amerikanische Volk gerichtet hat, heißt es: „Auf uns Wissenschaftlern, die diese ungeheure Kraft entfesselt haben, liegt die überwältigende Verantwortung dafür, die Atomenergie so zu lenken, daß sie dem Wohl der Menschheit und nicht der Vernichtung dient."

Ich möchte meinen Vortrag mit dieser Botschaft EINSTEINs beschließen. Es bleibt mir nur noch übrig, Ihnen herzlich für die Ehre zu danken, die Sie mir dadurch erwiesen haben, daß Sie mich eingeladen haben, in derselben Stadt und in demselben Gebäude vorzutragen, in dem PLANCK und EINSTEIN vor einem Vierteljahrhundert gelesen haben. Ich möchte, als ein Ausländer, der in seiner Jugend in Berlin studierte und seine wissenschaftliche Atmosphäre bewunderte, meinen Zuhörern und dem ganzen deutschen Volke herzlich wünschen, daß in Berlin, einmal wieder der Hauptstadt eines wiedervereinigten und friedlichen Deutschlands, die theoretische Physik aufblühen möge, würdig der von KIRCHHOFF, HELMHOLTZ, PLANCK und EINSTEIN geschaffenen Traditionen.

Warschau, Physikalisches Institut der Universität, Theoretische Physik.

Eingegangen am 21. März 1955.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die Kurzen Originalmitteilungen sind ausschließlich die Verfasser verantwortlich.

Reversible Leuchtstoffschädigung durch positive Ionen.

Es wurde die Abnahme der Lumineszenz von kub. ZnS: 0,005% Ag bei Anregung mit H_2^+-Ionen und die Lumineszenz dieser geschädigten Stellen bei Anregung durch Elektronen untersucht. Die Messungen wurden an abgeschmolzenen, ausgeheizten und gegetterten Spezialröhren durchgeführt, die bei einem Vakuum der Größenordnung 10^{-6} Torr betrieben wurden. Als Ionenquelle diente der Anodenraum einer sog. PIERCE-Optik, wie sie in Wanderfeldröhren verwendet wird[1]). Die positiven Ionen werden in einem stark verdichteten Elektronenstrahl erzeugt und auf die Kathode hin beschleunigt. Sie treten nach dem Prinzip der Kanalstrahlen durch eine kreisförmige Öffnung in der Mitte der Kathode hindurch und werden mit einer Beschleunigungslinse auf den Leuchtschirm fokussiert und auf die gewünschte Spannung beschleunigt. Durch ein querliegendes Magnetfeld werden die einzelnen Ionenarten je nach ihrer Masse abgelenkt und dadurch getrennt. Der Elektronenstrahl wird mit einer normalen Oxydkathode erzeugt und mit einem WEHNELT-Zylinder gesteuert.

Der Leuchtschirm wurde im sog. „Perlverfahren" mit einem Phosphorsäurebinder aufgebracht. Als Unterlage diente eine durchsichtige, leitende Schicht. Das durch den dünnen Schirm hindurchtretende Lumineszenzlicht wurde durch eine Photozelle mit Sekundäremissionsvervielfacher oder mit Gleichstromverstärker gemessen. Die Abnahme der von den Ionen erzeugten Lumineszenz bei Beschuß des Leuchtstoffes mit H_2^+-Ionen wird durch eine Funktion

$$\frac{L}{L_0} = e^{-qNt} + \frac{1 - e^{-qNt}}{1 + cNt}$$

wiedergegeben. Hierbei bedeuten L_0 = Anfangshelligkeit, L = Helligkeit zur Zeit t, q = Querschnitt eines Erregungskanales, t = Zeit, N = Teilchenzahl pro Zeit und Fläche, c = Konstante für den Grad der Schädigung.

Es ist im wesentlichen die von HANLE[2]) angegebene Form $L/L_0 = 1/(1 + cNt)$, in der durch das Glied e^{-qNt} die statistische Verteilung am Anfang in erster Näherung berücksichtigt ist. Die durch ein einzelnes Ion ausgelöste Elektronenwolke erfüllt nur einen schmalen Kanal. Auch die Schädigung scheint nur in diesem Bereich aufzutreten. Es dauert daher einige Zeit, bis nach der statistischen Wahrscheinlichkeit die Mehrzahl der Ionen auf schon mehrfach geschädigte Leuchtstoffbereiche auftrifft. Die Anzahl der Ionen, welche auf ungeschädigte Leuchtstoffbereiche treffen und volle Helligkeit erzeugen, nimmt nach einer e-Funktion ab (e^{-qNt}). Schließlich verschwindet die statistisch verteilte Ungleichheit, und der Abfall der Helligkeit wird durch das Gesetz $1/(1 + cNt)$ wiedergegeben. Der Querschnitt eines Erregungskanales bleibt für verschieden aktivierte ZnS-Leuchtstoffe ziemlich konstant zwischen 1 und $1{,}5 \cdot 10^{-12}$ cm², während c sich stark verändert, so daß bei großer Schädigungskonstante der exponentielle Anfangsverlauf stärker zum Ausdruck kommt. Für H_2^+-Ionen ergibt sich

bei Beschleunigung auf 10 kV $c = 1{,}8 \cdot 10^{-12}$ cm²
auf 2 kV $c = 1{,}5 \cdot 10^{-12}$ cm².

Die Anfangshelligkeit ist in derselben Größenordnung wie bei Anregung durch Elektronen gleicher Energie. Nach einer Abnahme der Helligkeit auf 3% des Anfangswertes wurde die Ionenquelle abgeschaltet und durch die seitlich der Röhrenachse angebrachte Elektronenquelle ersetzt. Der Elektronenstrahl wurde magnetisch in die Röhrenachse gelenkt und der geschädigte Teil des Leuchtschirmes mit Elektronen verschiedener Geschwindigkeit angeregt. Bei Elektronenanregung ist die Helligkeit der geschädigten Stelle im Vergleich zur ungeschädigten Umgebung nicht bis 3%, sondern nur auf etwa 15% abgesunken. Außerdem zeigte sich, daß die Schädigung bei Elektronenbestrahlung in kurzer Zeit zum Teil wieder rückgängig gemacht wurde. Die Stromdichte war dabei so gering (12 μA/cm²), daß eine Erwärmung nicht in Betracht gezogen zu werden braucht. Besonders deutlich ist der Effekt nach Schädigung durch langsame Ionen (2 kV). Beim Auftreffen von 1 kV-Elektronen, deren Eindringtiefe etwa der Schädigungstiefe von 2 kV-H_2^+-Ionen entspricht, steigt die Helligkeit von etwa 17% der Helligkeit des ungeschädigten Leuchtstoffes auf etwa 80% innerhalb weniger Minuten an. Die Stelle, die von 10 kV-H_2^+-Ionen geschädigt war, wurde unter gleichen Bedingungen nur von 13% auf 25% regeneriert. Die Schädigung konnte auch durch UV-Strahlung einer Hg-Lampe rückgängig gemacht werden.

Bei Anregung durch Elektronenstrahlimpulse ist die Abklingzeit der Lumineszenz im geschädigten Teil größer als im ungeschädigten Teil. Die Ionen verursachen offensichtlich zwei verschiedene Störungen im Kristallgitter des Leuchtstoffes: Eine durch Elektronen regenerierbare und eine bleibende Schädigung. Die bleibende Schädigung wird vor allem durch schnelle Ionen verursacht und verstärkt sich bei längerer Bestrahlung.

Standard Laboratorium der C. Lorenz AG, Werk Eßlingen.

WOLFGANG BERTHOLD.

Eingegangen am 3. Juni 1955.

[1]) CUTLER, C. C., u. J. A. SALOOM: Proc. I.R.E. **1955**, 299.
[2]) HANLE, W., u. K. H. RAU: Z. Physik **133**, 297 (1952).

Mechanische Relaxation von einkristallinem Eis.

Einkristalline Eiszylinder[1]) von etwa 1 cm ⌀ und 5 cm Länge, deren Achse parallel zur hexagonalen *c*-Richtung orientiert war, wurden bei Temperaturen von 0 bis −25° C zu Torsionsschwingungen erregt (0,7 bis 80 kHz) und ihr Dämpfungsdekrement (δ) aus der Resonanzbreite bestimmt. Es tritt ein Maximum des Dekrements auf bei einer Frequenz (ω_{max}), die mit sinkender Temperatur (T) nach der ARRHENIUSschen Beziehung abnimmt, wie Fig. 1 zeigt. Die den Meßpunkten angepaßte Gerade

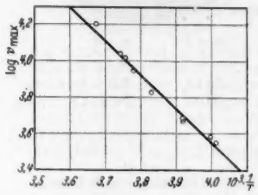


Fig. 1. Lage des Dämpfungsmaximums von einkristallinem Eis; Torsionsschwingungen parallel zur hexagonalen *c*-Achse.

$$\left.\begin{aligned}\ln \omega_{max} &= \ln 2\pi \nu_{max} \\ &= \text{const} - A/(k\,T)\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

führt auf eine Aktivierungswärme A von 0,37 eV. Damit lassen sich die Meßwerte bei allen Temperaturen auch abseits vom Dämpfungsmaximum in *einem* Diagramm darstellen: $\delta = f(\omega\tau)$, wobei $\tau = \omega_{max}^{-1}$ und wegen (1) $\omega_{max} = K \cdot e^{-A/(kT)}$ zu setzen ist. Das Ergebnis zeigt Fig. 2. Die ausgezogene Kurve ist berechnet als Relaxationskurve

$$\delta = \delta_{max} \cdot 2\,\omega\,\tau/(1 + \omega^2\,\tau^2) \qquad (\delta_{max} = 2{,}9 \cdot 10^{-2}),$$

vermehrt um ein kleines additives Glied ($\delta_0 = 0{,}2 \cdot 10^{-2}$), das wir der unvermeidlichen Dämpfung durch die Anregungs- und

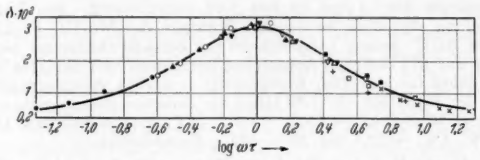


Fig. 2. Gemessene Dämpfungswerte und gerechnete Relaxationskurve. Meßfrequenzen: ● 0,69, ○ 3,83, ▲ 4,62, △ 8,87, ▼ 10,35, ▽ 18,10, ■ 23,87, □ 30,6, + 40,06, × 80,74 kHz. Temperaturintervall: 0 bis −25° C.

Abnahmeorgane zuschreiben. Ihr passen sich die Meßpunkte an mit einer Streuung, die nicht über die Meßgenauigkeit hinausgeht.

Das Phänomen läßt sich deuten durch einen mechanischen Relaxationsvorgang mit *einer* wohldefinierten Relaxationszeit. Dabei handelt es sich offenbar um den gleichen Vorgang, den HUMBEL, JONA und SCHERRER[2]) mittels dielektrischer Absorptionsmessungen beobachteten. Aus den dort abgebildeten Kurven läßt sich für Eis aus Leitungswasser eine Aktivierungswärme von 0,28 eV, für Eis aus sehr reinem Wasser von 0,52 eV bestimmen. Unser Wert, der ebenfalls von Eis aus Leitungswasser gewonnen wurde, liegt dazwischen. Die Lage des Dämpfungsmaximums zeigt sehr gute Übereinstimmung. Das PAULINGsche Eismodell legt nahe, die Ursache der Relaxation im Platzwechsel von Protonen zu suchen. Weitere Versuche sind im Gange.

Die Untersuchungen werden in dankenswerter Weise unterstützt durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft und die Firma Robert Bosch; deren Kälteabteilung half uns freigebig mit Rat und Tat.

I. Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, Stuttgart.

H. O. KNESER, S. MAGUN und G. ZIEGLER.

Eingegangen am 9. Juni 1955.

[1]) Die Einkristalle wurden nach einem Verfahren gezüchtet, über das G. J. KRÜGER und S. MAGUN bei der Tagung der Physikalischen Gesellschaft in Ulm 1955 berichtet haben.
[2]) HUMBEL, F., F. JONA u. P. SCHERRER: Helv. phys. Acta **26**, 17 (1953).

Beitrag zur Quarz-Cristobalit-Umwandlung.

In Fortführung der Arbeiten über das Umwandlungsverhalten von Quarziten in Abhängigkeit von der Korn- bzw. Oberflächengröße[1]) wurde die Umwandlung verschiedener SiO_2-Rohstoffe mit dem Zählrohrgerät nach der direkten Vergleichsmethode[2]) quantitativ verfolgt. Für die Bestimmung der Bezugsintensitäten fand einmal brasilianischer Bergkristall (< 5 μ) Verwendung, zum anderen aus Bergkristall hergestellter Cristobalit. Die röntgenographischen Untersuchungen ergaben, daß erst durch längeres Glühen bei 1600 bzw. 1700° C die Cristobalit-Intensitäten ein Maximum erreichen. Zur quantitativen Auswertung wurden für Quarz die Intensitäten der Interferenzen (100), (101), (112), für Cristobalit die von (101), (111) und (102) herangezogen. Die Genauigkeit der quantitativen Bestimmung wurde durch Mischungsproben (Quarz/Quarzglas und Quarz/Cristobalit) mit verschiedenen Einwaageverhältnissen ermittelt. Der Fehler dieser Bestimmungen betrug ±2%.

Bei der Untersuchung der Quarz-Cristobalit-Umwandlung (ohne Zusatz von Mineralisatoren) ergaben sich bei der Berechnung der Komponenten der gebrannten Proben im Gegensatz zu den Mischungsproben stark streuende Werte zwischen den aus den einzelnen Intensitäten errechneten Gehalten; auch blieb die Summe der kristallinen Anteile immer unter 100%, zum Teil sogar unter 50%. Die Ausmessung der Intensitäten zeigte, daß sich die einzelnen reflektierenden Ebenen beim Brennen anscheinend ungleich schnell oder ungleich gut ausbilden, wodurch bei der Berechnung der Gehalte eine größere Fehlergrenze entstehen muß. Die Intensität der (101)-Interferenz des Cristobalits liefert besonders bei kurzen Glühzeiten immer wesentlich höhere Werte als die von (111) und (102). Bei sehr langen Temperzeiten wird (101) kaum noch stärker, während die beiden anderen weiter anwachsen. In der Annahme, daß der tatsächliche Gehalt an Cristobalit wahrscheinlich am genauesten aus dem Mittelwert der beobachteten Interferenzintensitäten zu berechnen sein dürfte, wurde die Auswertung wie bei den Mischungsproben vorgenommen, ein Verfahren, das durch die erzielten Ergebnisse gerechtfertigt ist. Wir schätzen die Genauigkeit der quantitativen Bestimmungen in bezug auf den tatsächlichen Cristobalitgehalt auf etwa ±4%.

Das Ausgangsmaterial für die untersuchten Brennproben war Tertiärquarzit (Leimsfeld/Hessen) und Bergkristall (Brasilien) (0 bis 5 und 60 bis 100 μ). Die Proben wurden bei 1200, 1300, 1400 und 1500° C je 10, 20, 30, 60, 120, 240 und 480 min getempert und anschließend nachzerkleinert, so daß eine gute Reproduzierbarkeit der Diagramme gegeben war. Die Geschwindigkeit der Umwandlung von Quarz in Cristobalit verläuft bei den feinen Fraktionen anfänglich linear, um sich dann zu verlangsamen. Die Umwandlungsgeschwindigkeit des Quarzits übertrifft bei weitem die des Bergkristalls; diese Erscheinung beruht im wesentlichen auf einer Anreicherung des Basalzements und damit auch der Fremdoxyde in der feinsten Fraktion, wie durch chemische Analysen festgestellt werden konnte (Fremdoxydgehalt in der Fraktion 0 bis 5 μ: 5%, in der Fraktion 60 bis 100 μ: 0,6%). Bei der gröberen Fraktion wird der Umwandlungsfortschritt erst bei 1500° C deutlich feststellbar.

Bei allen Proben wurde aus der Röntgenanalyse durch Differenzbildung der röntgenamorphe Anteil quantitativ ermittelt. Es zeigte sich, daß dieser in allen Versuchsreihen bei den einzelnen Temperaturen ein Maximum durchläuft, dessen Lage von der Brennzeit und der Körnung abhängig ist. Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse kann nicht entschieden werden, ob dieser Anteil eine definierte Phase darstellt. Aus den Versuchen geht jedoch eindeutig das Auftreten eines röntgenamorphen Übergangszustandes bei der Umwandlung von Quarz in Cristobalit hervor, wobei sich nach den bisherigen Ergebnissen selbst nach sehr langer Temperzeit bei jeder Temperatur ein Endzustand in der Cristobalitbildung ein-

stellt. Wie aus den Beobachtungen FENNERS[3]) bekannt ist, erniedrigt sich die $\beta \rightarrow \alpha$-Umwandlungstemperatur mit der Bildungstemperatur des Cristobalits. Diese Tatsache wird durch die beschriebenen Untersuchungen an den bei verschiedenen Temperaturen gebildeten Cristobaliten gedeutet.

In einer ausführlichen Mitteilung sollen die Ergebnisse der DTA und Elektronenbeugung in Zusammenhang mit den hier angeführten behandelt werden.

Institut für Gesteinshüttenkunde der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule, Aachen.

H. MÜLLER-HESSE, H. E. SCHWIETE und H. STOLLENWERK.

Eingegangen am 9. Mai 1955.

[1]) SCHWIETE, H. E., u. H. STOLLENWERK: Arch. Eisenhüttenwes. (im Druck).

[2]) ALEXANDER, L., H. P. KLUG u. E. KUMMER: J. Appl. Physics **19**, 742 (1946). — WILCHINSKY, Z. W.: J. Appl. Physics **18**, 929 (1947). — ALEXANDER, L., u. H. P. KLUG: Anal. Chem. **20**, 886 (1948). — ENGELHARDT, W. v., H. FÜCHTBAUER u. H. GOLDSCHMIDT: Naturwiss. **39**, 82 (1952).

[3]) FENNER, C. N.: Z. anorg. Chem. **85**, 133 (1914).

Die Rotationsanalyse des Singulett-Systems A des Zirkoniumoxyds.

Kürzlich wurden Rotationsanalysen von drei starken Triplettsystemen α, β und γ des Zirkoniumoxyds veröffentlicht[1]),[2]). Nun ist eine Rotationsanalyse des stärksten Singulettsystems (System A) durchgeführt worden, wobei ein R- und ein P-Zweig in jedem Band festgestellt wurde. Die Banden 0,0, 0,1, 1,0 und 2,1 sind analysiert worden.

Die vorläufigen Werte der Konstanten ($Zr^{90}O^{16}$) sind

$$\begin{cases} B''_v = 0{,}4242 - 0{,}0024\,(v'' + \tfrac{1}{2}) \\ D'' \sim 0{,}3 \cdot 10^{-6} \end{cases} \quad \begin{cases} B'_v = 0{,}3958 - 0{,}0024\,(v' + \tfrac{1}{2}) \\ D' \sim 0{,}4 \cdot 10^{-6}. \end{cases}$$

Eine ausführlichere Arbeit wird im „Arkiv för Fysik" veröffentlicht werden.

Einer der Verfasser der vorstehenden Arbeit hat außerdem mit einer Rotationsanalyse des Triplettsystems δ des Zirkoniumoxyds begonnen.

Physikalisches Institut der Universität, Stockholm.

ULLA UHLER und LARS ÅKERLIND.

Eingegangen am 18. Mai 1955.

[1]) LAGERQVIST, A., U. UHLER u. R. F. BARROW: Ark. Fysik **8**, 281 (1954).

[2]) UHLER, U.: Ark. Fysik **8**, 295 (1954).

Über ein Periodensystem der Metallboranate.

Periodensysteme von *Verbindungen* können für die präparative Forschung von größter Bedeutung sein, da sie Voraussagen über Existenz oder Nichtexistenz sowie über wichtige makroskopische Eigenschaften von noch unbekannten Stoffen ermöglichen und so das experimentelle Arbeiten sehr erleichtern. Die Stabilitätsquotiententheorie (SR-Theorie) nach R. T. SANDERSON[1]) erscheint für solche Voraussagen besonders geeignet, wie im folgenden an Hand der Metallboranate gezeigt wird.

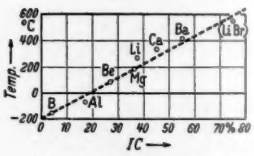


Fig. 1. Schmelzpunkte[4]),[6]) einiger Boranate als Funktion des IC.

Faßt man die Bindung vom Typus Me—BH_4 als Donor-Akzeptor-Bindung zwischen dem Metall-Hydrid (Me—H) und der Borinkomponente (BH_3) auf, so ist der Ionencharakter (IC) der Verbindung Me—BH_4 ein Maß für die Stabilität der Komplexmolekel. Tabelle 1 gibt die für die isoliert-gasförmig gedachte Molekel nach der Gl. (1)

$$\left.\begin{aligned} IC &= 10^2 \cdot (\Delta SR_{Me(BH_4)_n-Me} / \Delta SR_{Me+n-Me}) \\ &= 10^2 \cdot (\Delta SR_{BH_4-Me(BH_4)_n} / \Delta SR_{BH_4-BH_4}) \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

aus Elektronegativitäts-Differenzen ΔSR errechneten IC-Werte für einige reale und hypothetische Boranate wieder. Der IC des $LiBH_4$ wurde halb-empirisch bestimmt[2]),[3]), die der übrigen Alkaliboranate wurden geschätzt, da die SR-Theorie für diese Fälle nicht anwendbar ist. Die bekannte Sonderstellung des $LiBH_4$ zeigt sich in dem niedrigen IC und läßt eine Brückenbeziehung vermuten, die offenbar durch die Kleinheit des Li-Ions und die Form und Größe des BH_4-Anions hervorgerufen wird. Auf Grund der Instabilität des freien Borins folgt nun die Bedingung, daß Boranate, deren IC kleiner als der im B_2H_6 (4,3%) ist, nicht existenzfähig sein dürfen. Dies stimmt mit der Erfahrung ausgezeichnet überein: Sehr unbeständig bzw. nicht existenzfähig sind die Boranate des Ga, In, Tl, C, Si, Ge, Sn, Pb, N, P, Sb, Bi, Hg, Au, usw., einschließlich der von Pb(II), Sn(II) und Ge(II).

Tabelle 1. *IC-Werte*[5]) *einiger realer und hypothetischer Metallboranate* $Me(BH_4)_n$.

Hauptgruppen

$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=3$
Li 37	Be 27	B 4,3 *)	C 0	N neg.
Na } >45	Mg 36,5	Al 17	Si 3,6	P 1,2
K } >45	Ca 45	Ga 2	Ge 0,4	As neg.
Rb } >45	Sr 52	In 4	Sn 1,8	Sb 1,8
Cs } >45	Ba 55	Tl 0	Pb 0,2	Bi 0

Nebengruppen

$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=2$
Cu 31	Zn 11	Sc 23		Mn 6
Ag 34	Cd 15	Ti 17	Zr 12	Ni ~3
Au 3	Hg 2	Y 24	Hf 12	Fe 5

*) Berechnet für B_2H_6.

Fig. 1 zeigt einen empirischen Zusammenhang von Schmelzpunkt mit dem IC von Boranaten der Hauptgruppen. Für deren Löslichkeit in Diäthyläther z. B. gilt der Grenzwert von ~40% IC; salzartigere Boranate sind darin völlig unlöslich. Auch die Beständigkeit von Solvaten (Ätheraten, Amminaten) fällt in charakteristischer Weise mit steigender Salzartigkeit. So wird $Al(BH_4)_3$ von Trimethylamin noch gespalten, während die Alkali- und Erdalkaliboranate durch Erhitzen um so leichter solvatfrei erhältlich sind, je größer ihr IC ist. Die Beständigkeit wäßrig-alkalischer Lösungen der Metallboranate nimmt ebenfalls mit steigender Salzartigkeit zu, Reduktionen können mit den salzartigen Alkali- und Erdalkaliboranaten auch in wäßrigem Medium durchgeführt werden.

Soweit die Reindarstellung von Doppelhydriden der Nebengruppen bereits gelungen ist, zeichnen sich für diese ähnliche Gesetzmäßigkeiten ab, jedoch müssen zusätzliche, etwa durch Elektronenstruktur und Polarisation hervorgerufene Effekte berücksichtigt werden. So sind z. B. die stark kovalenten Boranate des Cd und Zn fest und nichtflüchtig. Die Darstellung der stark kovalenten Boranate des Mn(II), Fe(II) und Ni(II) gelang entsprechend der Beständigkeitsregel bisher nur in Form von Anlagerungskomplexen und Solvaten[7]), in denen die Me—BH_4-Komponente zusätzlich stabilisiert ist. In der Reihe Mn—Fe—Ni fallen die Zersetzungstemperaturen dieser Komplexe (+120°, +10°, −40°) parallel mit dem IC (6%, 5%, ~3%) der Me(—$BH_4)_2$-Komponente.

Herrn Professor Dr. EGON WIBERG danke ich für die Anregung zu dieser Arbeit sowie für die Überlassung unveröffentlichten experimentellen Materials.

Institut für Anorganische Chemie der Universität, München (Direktor: Prof. Dr.-Ing. EGON WIBERG).

GERHARD NORBERT SCHRAUZER.

Eingegangen am 21. Mai 1955.

[1]) SANDERSON, R. T.: Science (Lancaster, Pa.) **114**, 670 (1951). — J. Amer. Chem. Soc. **74**, 272, 4792 (1952). — J. Chem. Educat. **29**, 539 (1952); **31**, 2, 238 (1954).

[2]) SCHRAUZER, G. N.: Naturwiss. **42**, 43, 44 (1955).

[3]) Zu dieser Arbeit[2]) sei ergänzend mitgeteilt, daß die Errechnung des IC von $LiBH_4$ aus der experimentell bestimmten scheinbaren Elektronegativität des BH_4-Anions vorteilhafter auch nach Gl. (1) erfolgen kann, was innerhalb der Fehlergrenzen zu numerisch gleichem Ergebnis führt.

[4]) WIBERG, E., u. R. HARTWIMMER: Z. Naturforsch. **10b**, 290 (1955).

[5]) Negative IC-Werte bedeuten, daß das BH_4-Anion bereits δ^+-Ladung besitzt. Sämtliche Berechnungen beziehen sich auf die Annahme 90% IC im NaF. Bei zentrosymmetrischer Hybridisierung und ähnlich einfach gelagerten Fällen lassen sich die IC-Werte ungefähr mit den aus Dipolmomenten errechenbaren vergleichen[2]).

[6]) WIBERG, E.: Angew. Chem. **65**, 16 (1953).

[7]) WIBERG, E., u. A. JAHN: Diss. ARTHUR JAHN, München 1954.

Inorganic Circular Paper Chromatography.

Separation of Lead, Mercury, Bismuth, Copper and Cadmium Ions.

POLLARD *et al*[1]) observed a slight difference in the R_F values of the anions when different copper salts of the acids (citrate, tartrate, sulphate, chloride and nitrate) were chromatographed with butanol-acetic acid solvent. By altering the experimental conditions, it has been found possible to separate different salts of the same cation. — 0·1 M solutions of the different salts of the metals (Pb, Hg, Bi, Cu and Cd) were spotted separately at the centre of a filter paper (Whatman No. 3) and chromatographed with different solvents and sprayed with ammoniacal hydrogen sulphide as described in an earlier note[2]). Mixtures containing the same anion of different metallic radicals (sulphate, chloride, nitrate and acetate) were also tried in a similar way. In another set of experiments mixtures of the sulphate, chloride and nitrate as well as sulphate, chloride and acetate of copper and cadmium were chromatographed using n-butanol saturated with 4 N acetic acid as the solvent. It was noticed that the metals separated in three concentric rings corresponding to the sulphate, chloride and nitrate in one case and sulphate, chloride and acetate in the other case. The R_F values in the systems agreed fairly with those of the individual salts as given in table 1.

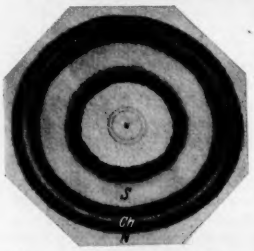


Fig. 1. Separation of sulphate, chloride and nitrate of copper. Solvent: n-butanol saturated with 4 N acetic acid. Temperature 25 to 27° C. Time: 9 a.m. to 4 p.m. *S* sulphate, R_f 0·20; *Ch* Chloride, R_f 0·37; *N* nitrate, R_f 0·48.

Table 1. *R_F values of Pb^{++}, Hg^{++}, Bi^{+++}, Cu^{++} and Cd^{++} with different anions. Temperature: 25° to 27° C.*

Salt	Solvent I*)					Solvent II*)				
	Pb	Hg	Bi	Cu	Cd	Pb	Hg	Bi	Cu	Cd
Sulphate	—	0·57	—	0·27	0·21	—	0·82	—	0·36	0·79
Chloride	—	0·84	0·61	0·40	0·42	—	0·83	0·72	0·36	0·79
Nitrate	0·46	0·69	0·62	0·54	0·52	halo	0·89	0·73	0·38	0·79
Acetate	0·51	0·82	—	0·57	0·54	halo	0·82	—	0·35	0·79

*) Solvent I: n-butanol saturated with 4 N acetic acid. Solvent II: n-butanol saturated with 3 N hydrochloric acid.

Similar results were obtained when the following solvents were used for irrigating the filter paper: ethyl alcohol/acetic acid, n-propyl alcohol/acetic acid, isopropyl alcohol/acetic acid, iso-butyl alcohol (tertiary)/acetic acid. With amyl alcohol/acetic acid, however, such a separation did not take place. When acetic acid was replaced by hydrochloric acid in the solvent, the R_F values of the various metallic ions were strikingly different. There was very little difference in the R_F values of the individual cations when associated with different anions, and it was not possible to separate the salts.

The above results indicate the profound influence of the nature of the acid used with the irrigating solvent on the R_F values of cations. The R_F values obtained in the present work show a greater deviation from those that were obtained by POLLARD *et al.* Further work is in progress to find out factors that influence the R_F value of the ions.

The authors are grateful to Dr. M. R. A. RAO and Prof. K. R. KRISHNASWAMI for their help and keen interest in the work.

Department of General Chemistry, Indian Institute of Science, Bangalore.

A. R. VASUDEVA MURTHY and V. A. NARAYAN.

Eingegangen am 9. Mai 1955.

[1]) POLLARD, MCOMIE and ELBEIH: J. Chem. Soc. **1951**, 466.
[2]) MURTHY, A. R. VASUDEVA, V. A. NARAYAN and M. R. A. RAO: Current Sci. **24**, 158 (1955).

Use of Aryloxy Fatty Acids in Inorganic Analysis.

The first member of this series, namely phenoxy acetic was first used by PRATT and JAMES[1]) for the estimation of thorium, which was later rejected as unsuitable by SMITH and JAMES[2]) as the thorium salt was slightly soluble in water. RAO and co-workers[3]), however, utilised this reagent successfully for the determination of thorium by the double precipitation method. A large number of organo-mercurials of aryloxy-fatty acids were prepared by GUHA SIRCAR and DATTA[4]) with a view to study their anti-bacterial properties. Phenoxy acetic acid was employed by DATTA[5a]) for the determination of mercuric and mercurous mercury from their acid solutions. The formation and magnetic properties of the metallic salts of mercuri-phenoxy, o-cresoxy, and guaiacoxy acetic acids with copper, nickel, and cobalt were studied by DATTA and BANERJEE[6a]). Aryloxy acetic acids like 2:4-dichloro-phenoxy and guaiacoxy acetic acids were suitably employed for the estimation of thorium[6b]) and 2:4-D for zirconium and iron[6c]) and for the recovery of thorium from the worn-out gas mantles and tungsten filaments by the above authors[6d]). Tri-chloro-phenoxy acetic acid was found to be a better reagent for thorium than 2:4-D[5b]). RAO and ESWARNARAYANA[7]) used o- and p-chloro phenoxy- and p-chloro-m-cresoxy acetic acids for the estimation of thorium.

With a view to study the analytical behaviour of aryloxy fatty acids, the following acids of this series have been prepared by the author: o-nitro-phenoxy, o-cresoxy, p-cresoxy, B-naphthoxy, guaiacoxy, thymoxy, salicyloxy, aldehydo phenoxy, 2-carboxy phenoxy acetic and propionic acids. 2:4-D and 2:4:5-T were also used. It was seen that some of these acids may be successfully used for the determination of mercury, iron, thorium, zirconium and uranium. They may be separated from many foreign ions under suitable conditions. Thorium, zirconium and uranium may also be separated from one another by the control of hydrogen ion concentration of the mixture. Direct weighing method is applicable in the determination of mercury and iron with many acids and of thorium with a few. The details of the work will be published elsewhere, very soon.

The author likes to express his gratefulness to Dr. S. S. GUHASIRCAR for his kind advice and suggestions. He also likes to thank Prof. D. N. DASGUPTA and Prof. G. BANERJEE for their kind encouragement in the work.

Chemical Laboratories, Darjeeling Government College, Darjeeling, India. SACHINDRA KUMAR DATTA.

Eingegangen am 24. Juni 1955.

[1]) PRATT and JAMES: J. Amer. Chem. Soc. **33**, 2330 (1911).
[2]) SMITH and JAMES: J. Amer. Chem. Soc. **34**, 281 (1912).
[3]) RAO et al: J. Indian Chem. Soc. **27**, 83 (1950).
[4]) GUHA SIRCAR and DATTA: J. Indian Chem. Soc. **27**, 358 (1950).
[5]) DATTA, S. K.: (a) J. Indian Chem. Soc. **30**, 657 (1953). — (b) Analyt. Chim. Acta (in press).
[6]) DATTA and BANERJEE: (a) J. Indian Chem. Soc. **30**, 568 (1953). — (b) J. Indian Chem. Soc. **31**, 398 (1954). — (c) J. Indian Chem. Soc. **31**, 773 (1954). — (d) Analyt. chim. Acta **12**, 323 (1955).
[7]) RAO and ESWARNARAYANA: J. Sci. Ind. Res. [India] A, **13** (1954).

Trägerelektrophorese mit stabilisiertem Strom.

Beim Versuch der Proteintrennung durch Elektrophorese mit höheren Spannungen werden häufig unscharfe Trennungen und Einschnürungen der Eiweißstreifen im Papier beobachtet

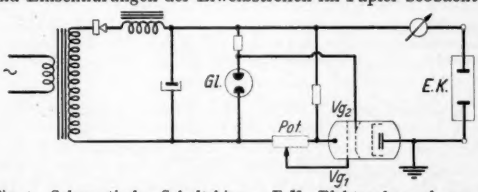


Fig. 1. Schematische Schaltskizze. *E.K.* Elektrophoresekammer, *Gl.* Glimmröhre.

und damit exakte Auswertungen in Frage gestellt. Die Stromstärke zeigt einen Anstieg, der von W. GRASSMANN und K. HANNIG[1]) sowie von G. WERNER und O. WESTPHAL[2]) beobachtet und unter anderem als Folge der durch die Stromwärme bedingten starken Verdunstung und damit verbundenen Konzentrationsänderung in der Kammer erklärt wurde. Zur Abführung der Stromwärme sind verschiedene Methoden angewandt worden[3]). Zum Beispiel beschreiben WERNER und WESTPHAL[2]) eine Anordnung, die das Elektrophoresepapier durch Unterströmung von Solelösung auf konstant tiefer Temperatur halten. Auf diese Weise wurde bei einem spannungsstabilisierten Netzanschlußgerät die für die Elektrophorese erforderliche Stromkonstanz erreicht.

Im folgenden ist nun eine Versuchsanordnung beschrieben, bei der die Stromstärke elektronisch stabilisiert wurde (Fig. 1). Im Stromkreis der Elektrophoresekammer (E.K.) und Gleichspannungsquelle (1000 V) liegt eine Pentode, bei der mit der Gitterspannung (V_{g1}) die Stromstärke (I_a) geregelt wird. Die Spannung des Schirmgitters (V_{g2}) wird mit einer Stabilisationsglimmröhre (*Gl*) konstant gehalten. Um die Wirkungsweise der Stromstabilisation zu demonstrieren, wurden an Stelle der Elektrophoresekammer erstens ein Ersatzwiderstand (*R*) von 70 kΩ und zweitens ein extrem kleiner von nahezu 0 Ω eingeschaltet und die entsprechenden Stromwerte in Spalte 1 und 2 der Tabelle 1 angeführt. Schließlich wurden in den Tabellen 2 und 3 Meßergebnisse angeführt, bei denen erstens die Stromstärke (I_a) bei konstanter Laufzeit und zweitens die Laufzeit bei konstanter Stromstärke (I_a) variiert wurden. Aus Tabelle 2 ist zu entnehmen, daß bei größerer Stromstärke die Länge des Streifens abnimmt. Ebenso wird die Trennung der einzelnen Fraktionen unschärfer. Es scheint demnach, daß die der Elektrophorese entgegenwirkende elektroosmotische Kraft nicht nur von den von KNAPP und SIELER[4]) angeführten Faktoren, sondern auch noch von der durch die erhöhte Stromstärke bedingten größeren Feldstärke abhängig ist. Aus Tabelle 3 ersieht man, daß eine gewisse Dauer der Elektrophorese bei einer optimalen Stromstärke (I_a) von 5 mA mit dieser Versuchsordnung nicht unterschritten werden darf. Die Länge des Streifens wächst zwar mit der Länge der Laufzeit, das Trennbild erreicht jedoch ein Maximum bei einer Laufzeit von 4 bis 5 Std unter den oben angeführten Bedingungen. In Fig. 2 sind schließlich Versuchsergebnisse mit dieser verkürzten Laufzeit bei stabilisierter Stromstärke zusammengestellt, und zwar in der Reihenfolge der Tabellen 2 und 3.

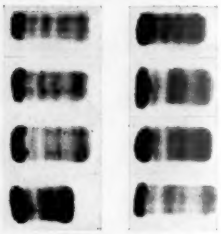


Fig. 2. Elektrophoresestreifen (Blutserum) mit stromstabilisierender Versuchsanordnung (links: zu Tabelle 2, rechts: zu Tabelle 3).

Tabelle 1. *Stromwert I_a bei verschiedenem Ersatzwiderstand.*

R = 70 kΩ:	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00 mA
R = 0 Ω:	1,00	2,05	3,10	4,25	5,75	8,00	14,00 mA

Tabelle 2. *Elektrophoretische Trennungen bei verschiedener Stromstärke und konstanter Laufzeit* (5 Std).

Stromstärke . . .	4	5	6	7 mA
Streifenlänge . .	5,5	6,5	5,5	4,5 cm
Trennung	noch gut	gut	noch gut	schlecht

Tabelle 3. *Elektrophoretische Trennung bei verschiedener Laufzeit und konstanter Stromstärke* (5 mA).

Laufzeit	3	4	5	6 Std
Streifenlänge . .	4,5	5,5	6,5	7,0 cm
Trennung	erkennbar	noch gut	gut	noch gut

Eine vergleichende Prüfung von Elektrophoresebefunden, die bei zwei verschiedenen Normalseren einerseits mit der oben beschriebenen Anordnung und andererseits mit dem Elektrophoresegerät nach GRASSMANN erhoben wurden, ergab jeweils eine gute, innerhalb der Fehlergrenzen liegende Übereinstimmung.

Physikalisches Institut der Universität, Saarbrücken (*Prof. Dr.* E. PLÖTZE) *und Staatliches Institut für Hygiene und Infektionskrankheiten (Chemische Abteilung), Saarbrücken* (*Prof. Dr.* W. ULRICH).

W. CROON und H. CROON.

Eingegangen am 4. Juni 1955.

[1]) GRASSMANN, W., u. K. HANNIG: Klin. Wschr. **1954**, Nr. 35/36.
[2]) WERNER, G., u. O. WESTPHAL: Angew. Chem. **67**, 251 (1955).
[3]) CREMER, H., u. A. TISELIUS: Biochem. Z. **320**, 273 (1950). — MICHL, H.: Mh. Chem. **82**, 489 (1951). — MICHL, H.: Mh. Chem. **83**, 737 (1952). — McDONALD u. J. HUGH: J. Gen. Physiol. **36**, 89 (1951).
[4]) KNAPP, A., u. H. SIELER: Z. inn. Med. **16**, 741 (1953).

Eine neue Mikro-Bestimmungsmethode für Citronensäure.

Eine grundsätzlich neue Methode der Citratbestimmung ergibt sich aus dem Befund, daß Zitronensäure einen löslichen Kupferkomplex bildet. Unter den Bedingungen der Aminosäureanalyse nach POPE und STEVENS (mittels Kupferphosphatsuspension) hat der Komplex über ein weites Konzentrationsbereich die Zusammensetzung 1 Atom Cu: 1 Mol Citrat. Die Spezifität ist ausgeprägt; Weinsäure, Milchsäure, Apfelsäure, Malonsäure, Bernsteinsäure, Fumarsäure, Brenztraubensäure, Acetessigsäure und Fettsäuren reagieren unter den Bedingungen der Analyse nicht.

Papierchromatogramme können analog den Vorschriften von WOIWOD[1]) bzw. BOSER[2]) ausgewertet werden, indem die Citratzone ausgeschnitten und mit Kupferphosphatsuspension behandelt wird. Kupferbestimmung im Filtrat mittels Na-Diäthyldithiocarbaminat (günstiges Erfassungsgebiet: 20 bis 300 γ Citr.; 1 γ Cu = 3,02 γ Citr.). Die Markierung geschieht entweder im UV-Licht oder besser durch Sprühen eines unter gleichen Bedingungen mitgelaufenen Vergleichschromatogrammes mit 0,03%igem Methylrot in 0,05 mol Boratpuffer p_H 8,0[3]). Selbst für sehr komplizierte Substanzgemische ist dieses Markierungsverfahren ausreichend, wenn als Lösungsmittel für die Papierchromatographie z. B. Äthanol: konz. Ammoniak: Wasser = 80:4:16[4]) verwandt wird. Eine genaue Markierung ist dann nicht erforderlich, es kann auch ein etwas größeres Bereich ausgeschnitten werden, denn:

a) haben sämtliche Aminosäuren, selbst Cystin, hier signifikant höhere R_F-Werte. Eine Tabelle der R_F-Werte vieler Aminosäuren [selbstverständlich würden diese bei der Kupferauswertung interferieren] findet sich bei CRAMER[5]); ergänzend seien die R_F-Werte folgender Aminosäuren (Schleicher & Schüll 2043b, absteigend) angegeben: Cystin 0,20; Histidin 0,40; Oxyprolin 0,46; Methionin 0,62; Isoleucin 0,71; der R_F-Wert der Zitronensäure liegt bei 0,10.

b) In der genannten Tabelle finden sich auch die R_F-Werte vieler organischer Säuren. Zu einem Irrtum beim qualitativen Nachweis kann fast nur Oxalsäure führen. Diese Säure stört außerdem in geringem Maße die Kupferauswertung, auch die reinsten Oxalsäurepräparate binden geringe Mengen Kupfer (1 Atom Cu: etwa 30 Mol Oxalsäure).

Diabetikerheim und Forschungsinstitut für Diabetes Garz und Karlsburg, Karlsburg, Kreis Greifswald (*Direktor: Prof. Dr.* G. KATSCH).

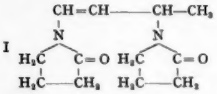
HERMANN BOSER.

Eingegangen am 13. Juni 1955.

[1]) WOIWOD, A. J.: Biochemic. J. **45**, 412 (1949).
[2]) BOSER, H.: Hoppe-Seylers Z. **296**, 10 (1954).
[3]) KALBE, H.: Hoppe-Seylers Z. **297**, 19 (1954).
[4]) LONG, A. G., J. R. QUAGH u. R. J. STEDMAN: J. Chem. Soc. [London] **1951**, 2197.
[5]) CRAMER, F.: Papierchromatographie, 3. Aufl., S. 94. Weinheim/Bergstr.: Verlag Chemie 1954.

Ein dimeres N-Vinylpyrrolidon.

Wir haben vor kurzem ein kristallisiertes, dimeres N-Vinylpyrrolidon, Schmp. 75°, beschrieben, für welches auf Grund seines Ultrarot-Absorptionsspektrums eine Cyclobutanstruktur wahrscheinlich erschien[1]). Während nämlich das monomere N-Vinylpyrrolidon ein Absorptionsmaximum bei 5,9 μ (C=O) und eines bei 6,1 μ (C=C) von etwa gleicher Stärke zeigt, hat das Dimere nur mehr ein allerdings sehr breites Maximum bei 6 μ, etwa in gleicher Art, wie es auch die Polyvinylpyrrolidone besitzen. Aber schon die Ultraviolettabsorption des Dimeren zeigte deutlich seinen ungesättigten Charakter. Das UV-Absorptionsmaximum lag nämlich bei 240 mμ, also noch etwas langwelliger als das des Monomeren (235 mμ), während das des Polyvinylpyrrolidons etwa bei 210 mμ liegt.



Die Anwesenheit einer C=C-Doppelbindung im Dimeren wurde durch katalytische Hydrierung nachgewiesen. Es wurde 1 Mol H_2 aufgenommen. Das Hydrierungsprodukt wurde durch Reduktion mit Lithiumaluminiumhydrid in das sauerstofffreie Amin übergeführt, das ein kristallisiertes Dipikrat vom Schmp. 145° gab. Bei der Oxydation mit Chromsäure lieferte das Dimere eine Carbonsäure, die mit einer aus Pyrrolidonnatrium und α-Brompropionsäureester synthetisierten

α-(1-Pyrrolidonyl)-propionsäure, Schmp. 129°, identisch war. Das Dimere ist daher ein 1,3-Bis-(1′-pyrrolidonyl)-buten-(1) (I).

I. und II. Chemisches Laboratorium der Universität, Wien.

J. W. Breitenbach, F. Galinovsky, H. Nesvadba und E. Wolf.

Eingegangen am 6. Mai 1955.

[1]) Breitenbach, J. W., F. Galinovsky, H. Nesvadba u. W. Wolf: Naturwiss. **42**, 155 (1955).

Über das Vorkommen von Fumarsäure in den Blättern der Mariendistel.

Die *Früchte* der Mariendistel [Silybum marianum (L.) Gaertn., Carduus marianus L.] dienen bekanntlich in der Naturheilkunde als wirksames Gefäßmittel, vor allem bei Affektionen der Leber und Galle (Leberstauung!) sowie bei abdominellen Blutstockungen. Aber auch die *Blätter* werden seit einiger Zeit ebenfalls bei Leber-Galle-Erkrankungen therapeutisch verwendet. Da bisher über die Mariendistelblätter chemische Untersuchungen nicht vorlagen, haben wir uns mit der Analyse der Inhaltsstoffe der Folia Cardui Mariae befaßt.

Aus dem Bleiniederschlag des wäßrigen Blätterextraktes konnten zunächst weiße Kristalle isoliert werden, die nach Reinigung und Darstellung von Derivaten (Methylester und Maleinsäureanhydrid) als Fumarsäure, $C_4H_4O_4$, erkannt wurden. Ob bei der therapeutischen Anwendung der Mariendistel die Fumarsäure eine Rolle spielt, bleibt weiteren Untersuchungen überlassen. Immerhin ist bekannt, daß die Phosphorylierung und die Oxydation der Glukose durch Fumarsäure katalysiert wird[2]) und daß diese Säure oder, besser gesagt, das System Fumarsäure—Bernsteinsäure in die Oxydationsprozesse der Zellen eingreift. So wird z. B. auch die Fettsäureoxydation durch Fumarat angeregt[3]), und außerdem besteht die Möglichkeit eines Abbaues von Phenol durch Fumarate, worauf Kramer und Doetsch[4]) hingewiesen haben. Demnach scheint die Fumarsäure doch ein therapeutisch wesentlicher Inhaltsstoff der Mariendistelblätter zu sein.

Isolierung der Fumarsäure. 100 g Droge wurden zweimal mit je 1 Liter Wasser 6 Std lang heiß ausgezogen, das Filtrat mit Bleiazetat in üblicher Weise gefällt, der Bleiniederschlag nach dem Abfiltrieren mit 30%iger Essigsäure ausgekocht und vom Ungelösten abfiltriert. Das Filtrat wurde durch Einleiten von Schwefelwasserstoff entbleit, filtriert und die Lösung im Vakuum eingeengt. Nach einiger Zeit fiel ein schmutzig-weißer Niederschlag aus, der abgesaugt und getrocknet wurde.

Bei der Bestimmung des Schmelzpunktes beobachteten wir, daß der größte Teil dieses Körpers bei etwa 285° unzersetzt sublimierte. Das Sublimat war rein weiß gefärbt. Die Substanz wurde in 96%igem Alkohol gelöst, von Verunreinigungen abfiltriert und im Vakuum eingedampft. Den Rückstand kristallisierten wir aus Wasser um und erhielten weiße Kristalle, die im Vakuum bei 160° sublimierten. Nach zweimaliger Sublimation erhielten wir lange farblose Nadeln (Prismen), die deutlich sauer schmeckten, in Alkohol leicht, in Wasser nur beim Erwärmen löslich, dagegen in Chloroform und Benzol unlöslich waren. Durch Mischen mit authentischer Fumarsäure konnte keine Depression des Sublimationspunktes festgestellt werden.

Elementaranalyse: $C_4H_4O_4$, ber.: C = 41,38%, H = 3,47%; gef.: C = 41,52%, H = 3,91%. Titration: 35,8 mg Substanz verbrauchten 6,26 ml 0,1 nKOH. Daraus wurde das Äquivalent zu 57,21 bestimmt, entsprechend einem Mol-Gew. von 114,42 (theoretischer Wert 116,07).

Fumarsäure-Methylester. 61,8 mg Substanz wurden mit 10 ml Methanol und einigen Tropfen konz. Schwefelsäure 8 Std am Rückflußkühler erhitzt. Nach dem Erkalten wurde die Lösung mit Wasser verdünnt und mit Äther ausgeschüttelt. Die ätherische Lösung wurde säurefrei gewaschen, getrocknet und eingeengt. Nach einigem Stehen in der Kälte fiel ein Niederschlag aus, der nach dem Absaugen und Trocknen einen Schmelzpunkt von 101 bis 103° zeigte und sich nach einmaligem Umkristallisieren aus 50%igem Methanol nicht veränderte.

Maleinsäureanhydrid. 50 mg Substanz wurden mit 50 mg Phosphorpentoxyd 3 Std auf 140° erhitzt. Es sublimierte ein weißer Körper, dessen Schmelzpunkt nach Umkristallisieren aus Chloroform bei 51 bis 53° lag.

Papierchromatogramm. Der Nachweis wurde nach der Methode von Cheftel, Munier und Macheboeuf[1]) erbracht. Lösungsmittel I: Eukalyptol: Propanol: Ameisensäure (50:50:20), mit Wasser gesättigt, Papier: Schleicher & Schüll Nr. 2043b, entwickelt mit Bromphenolblau (50 mg in 100 ml 0,1 n Na_2CO_3, gelöst in 96%igem Alkohol). $R_f = 0,84$ (Lit. 0,83). — Lösungsmittel II: Benzoesäureäthylester: Propanol: Ameisensäure (40:60:20), mit Wasser gesättigt, entwickelt mit Bromphenolblau, $R_f = 0,77$ (Lit. 0,78). — Auf dem Chromatogramm war noch ein schwacher Fleck bei $R_f = 0,62$ (Lösungsmittel II) sichtbar, der offenbar von geringen Mengen Bernsteinsäure herrührt. Die Flecken erscheinen zitronengelb auf blauem Grund.

Chemisches Laboratorium der Firma Rhein-Chemie, Pharmazeutische Abteilung, Heidelberg.

H. Schindler und M. Here.

Eingegangen am 16. Juni 1955.

[1]) Cheftel, R. J., R. Munier u. M. Macheboeuf: Bull. Soc. Chim. biol. **33**, 840 (1951). — Chem. Zbl. **1952**, 5794.

[2]) Colowick, S. P., u. Mitarb.: J. of Biol. Chem. **133**, 614 (1940). Chem. Zbl. **1941** (II), 913.

[3]) Flaschenträger, B., u. E. Lehnhartz: Physiologische Chemie, Teil 1b, S. 1141. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1954.

[4]) Kramer, N., u. R. N. Doetsch: Arch. of Biochem. **29**, 187 (1950). — Chem. Zbl. **1951** (I), 3363.

Gitaloxin, ein neues Hauptglykosid der Digitalis purpurea.

Nach Stoll[1]) sollen in den Blättern von Digitalis purpurea nur die beiden „genuinen" Purpurea-Glykoside A und B vorkommen, aus denen durch fermentative Abspaltung von Glukose Digitoxin und Gitoxin entstehen. Ishidate[2]) hat außerdem noch Digitalinum verum und Gitorin nachgewiesen. Chloroformextrakte von wäßrigen Auszügen aus Digitalis-Blättern, die von Kraft[3]) als Gitalin-Fraktion bezeichnet wurden und die unter anderem als „Verodigen" (C. F. Boehringer & Soehne G.m.b.H., Mannheim) im Handel sind, sollten demnach nur Digitoxin und Gitoxin und das aus Digitalinum verum entstehende Strospesid enthalten. Es ist jedoch unmöglich, die Toxizität der Gitalin-Fraktion, z. B. auf das Meerschweinchen, durch den alleinigen Gehalt dieser drei Glykoside zu erklären. Dies veranlaßte uns zu erneuter Untersuchung des Verodigens. Überraschenderweise fanden wir, daß ein wesentlicher Bestandteil aus einem bisher unbekannten Glykosid besteht, das sich als 16-Formylgitoxin erwies. Wir haben für diese neue Verbindung den Namen „Gitaloxin" gewählt.

Das neue Glykosid kommt in beträchtlicher Menge — bis zu 55% der Summe von Gitoxin und Gitaloxin bzw. bis zu 35% der Summe von Digitoxin + Gitoxin + Gitaloxin — vor. Der bekannten Acylierung der Lanata-Glykoside tritt damit eine Acylierung der Purpurea-Glykoside an die Seite, wobei die D. lanata Essigsäure im Zuckeranteil, dagegen D. purpurea Ameisensäure im Geninanteil enthält. Die Auffindung des Gitaloxins gelang zunächst papierchromatographisch [Methode siehe F. Kaiser[4])]. Auf formamid-getränktem Papier mit Xylol-Methyläthylketon 1:1 hat Gitaloxin den R_F-Wert 0,55, Gitoxin 0,29 und Digitoxin 0,69. Bei vorsichtiger alkalischer Hydrolyse des Glykosidgemisches verschwindet Gitaloxin, während verstärkt Gitoxin auftritt. Damit ist die neue Substanz als Acylgitoxin gekennzeichnet. Sie ist verschieden von den bekannten Acetylgitoxinen α und β aus D. lanata, die die R_F-Werte 0,59 und 0,64 besitzen.

Diese papierchromatographischen Ergebnisse wurden durch präparative Isolierung des Gitaloxins bestätigt. Aus Aceton-Petroläther umkristallisiert, schmilzt die Substanz bei 250 bis 253°. Die spez. Drehung beträgt: $[\alpha]_D^{20}$: $-7°$ ($\pm 1°$) (Pyridin). Die UV-Absorption $\Lambda_{max} = 216$ mμ (log $\varepsilon = 4,19$) entspricht der eines Cardenolids. Elementaranalyse: $C_{42}H_{64}O_{15}$, MG. 808,92. Ber. C: 62,36%, H: 7,98%, CHO: 3,59%. Gef. C: 62,42%, H: 8,14%, CHO: 3,46%. Durch Oxydation mit Chromsäure wurde bewiesen, daß es sich bei der Acylgruppe um Formyl und nicht etwa um Acetyl handelt.

Bei vorsichtiger saurer Hydrolyse des Gitaloxins mit 0,1 n HCl in Aceton entsteht neben Gitoxin und Gitoxigenin das Gitaloxigenin, das sich identisch erwies mit einem zuckerfreien, acylierten Gitoxigeninderivat, welches wir ebenfalls in „Verodigen" papierchromatographisch auffanden ($R_F = 0,68$) und an Zellulosesäulen isoliert haben: matt glänzende dünne Blättchen vom Schmelzpunkt 215 bis 217°. Elementaranalyse: $C_{24}H_{34}O_6$, MG. 418,51. Ber. C: 68,87%, H: 8,19%. Gef. C: 68,78%, H: 8,35% bzw. C: 68,87%, H: 8,00%.

Die alkalisch abgespaltene Ameisensäure wurde papierchromatographisch und mit Chromotropsäure[5]) nachgewiesen.

Die Synthese aus Gitoxigenin gelang mit 98%iger Ameisensäure in Aceton neben 3-Formyl- und 3,16-Diformylgitoxigenin. Das Infrarotspektrum des Gitaloxigenins zeigt eine Verschiebung der zur Estergruppierung gehörigen Frequenzen der C=O-Valenzschwingung (5,75 μ) und der C—O—C-Valenzschwingung (7,92 μ) nach längeren Wellen (5,80 und 8,58 μ), was für die Anwesenheit einer Formylgruppe spricht.

Forschungslaboratorien der Firma C. F. Boehringer & Soehne G.m.b.H., Mannheim.

E. Haack, F. Kaiser und H. Spingler.

Eingegangen am 15. Juni 1955.

[1]) Stoll, A.: Helv. chim. Acta **18**, 120 (1935).
[2]) Ishidate, M.: Pharmazie **9**, 589 (1954).
[3]) Kraft, F.: Arch. Pharmazie **250**, 118 (1912).
[4]) Kaiser, F.: Chem. Ber. **88**, 556 (1955).
[5]) Feigl: Spot Tests **2**, 245 (1954).

Odorosid H als Bestandteil der Inhaltsstoffe von Folia Digitalis purpurea.

Bei der chromatographischen Auftrennung der Gitalin-Fraktion (Verodigen) aus Digitalis purpurea an Aluminiumoxyd haben wir neben Strospesid, das kürzlich auch von R. Tschesche und G. Grimmer[1]) in Digitalis purpurea aufgefunden wurde, ein weiteres Digitalose enthaltendes Glykosid isoliert. Dieses Glykosid, ein Digitoxigeninderivat, hat im mit Xylol-Methyläthylketon 1:1 entwickelten Formamid-Papierchromatogramm den R_F-Wert 0,29, wird also im Gesamtchromatogramm eines Digitalis-Extraktes von Gitoxin überdeckt. An Aluminiumoxydsäulen läßt es sich von den übrigen Digitalisglykosiden durch Elution mit Chloroform abtrennen und erscheint zusammen mit Diginin und mit einer wahrscheinlich mit Diginin verwandten Substanz in den ersten Durchlauffraktionen. Das Glykosid ist nach seiner Zusammensetzung und in seinen Eigenschaften mit dem von Rheiner und Mitarbeitern[2]) aus der Rinde von Nerium odorum Sol. und von Mohr, Schindler und Reichstein[3]) aus den Wurzeln von Carissa ovata isolierten Odorosid H identisch.

Aus Aceton-Petroläther kristallisiert es in langen, flachen Stäbchen vom Schmelzpunkt 234 bis 236°. Drehung: $\alpha_D^{20} = +7°$ (±2°) (Methanol). Elementaranalyse: $C_{30}H_{46}O_8$, MG. 534,57. Ber. C: 67,37%, H: 8,67%, O: 23,82%, CH_3O: 5,80%; Gef. C: 67,10%, H: 8,83%, O: 23,58%, CH_3O: 6,05%.— Das UV-Spektrum, Λ_{max}: 218 mμ (Methanol), entspricht dem eines Cardenolids. Die Gitalin-Fraktion enthält nur ungefähr 0,3% Odorosid H, was weniger als 0,001% der Droge entspricht. — In Digitalis lanata, aus der wir Odorosid H ebenfalls isoliert haben, ist der Gehalt noch etwas geringer.

Da in Digitalis purpurea und lanata das Mono-Digitalosid des Gitoxigenins, Strospesid, zusammen mit dem „genuinen" Digitalinum verum (Gitoxigenin + Digitalose + Glukose) vorkommt, erscheint es nicht ausgeschlossen, daß wenigstens die eine der beiden aus Nerium odorum Sol. bekannten Vorstufen von Odorosid H, Odorobiosid G und Odorotriosid G (mit Digitoxigenin + Digitalose + 1 bzw. 2 Glukose), ebenfalls in Digitalisblättern vorhanden ist.

Die Auftrennung der Gitalin-Fraktion an Aluminiumoxyd- und Cellulosesäulen hat außerdem Fraktionen geliefert, die noch weitere unbekannte Cardenolide der Gitoxigenin- und Digitoxigeninreihe enthalten, mit deren Isolierung wir zur Zeit beschäftigt sind. Besonders überraschend ist dabei die Feststellung, daß von jedem der drei Hauptglykoside Digitoxin, Gitoxin und Gitaloxin in geringer Menge eine zweite Form existiert, die bedeutend bessere Löslichkeitseigenschaften, aber geringe Kristallisationsbereitschaft zeigt und ebenfalls gute Herzwirksamkeit besitzt. Im Papierchromatogramm der Gitalin-Fraktion bilden diese Substanzen mit den bekannten Hauptglykosiden einen Doppelfleck und haben jeweils den höheren R_F-Wert.

Die mengenmäßig überwiegenden Herzglykoside der fermentierten Folia Digitalis purpurea dürften nunmehr alle bekannt sein, jedoch zeigen die neuesten Untersuchungen[4]), daß die Aufklärung sämtlicher „Nebenglykoside" noch keineswegs abgeschlossen ist.

Forschungslaboratorien der Firma C. F. Boehringer & Soehne G.m.b.H., Mannheim.

E. Haack, F. Kaiser und H. Spingler.

Eingegangen am 9. Juni 1955.

[1]) Lettré-Inhoffen-Tschesche: Über Sterine, Gallensäuren und verwandte Naturstoffe, 2. Aufl., Bd. 1, S. 315. Stuttgart: Ferdinand Enke 1954.
[2]) Rheiner, A., A. Hunger, W. Rittel u. T. Teichstein: Helv. chim. Acta **35**, 687 (1952); **36**, 434, 554 (1953).
[3]) Mohr, K., O. Schindler u. T. Reichstein: Helv. chim. Acta **37**, 462 (1954).
[4]) Jensen, K. B.: Acta pharmacol et toxicol. **9**, 275 (1953).

Pharmakologie des Gitaloxins.

Gitaloxin hat sich in umfangreichen pharmakologischen Untersuchungen als stark wirksames Glykosid erwiesen, das die typischen Eigenschaften der wichtigsten Digitalisglykoside besitzt. Neben einigen Besonderheiten, über die wir in größerem Rahmen an anderer Stelle berichten werden, lassen sich die wesentlichsten pharmakologischen Daten wie folgt zusammenfassen:

1. Meerschweinchen: Bei *intravenöser Infusion* nach Knaffl-Lenz gilt zwischen Überlebenszeit (Übl.Z.) und tödlicher Dosis die Beziehung

Übl.Z. (min)						
10	17,4	26,1	44	72	115	255
Tödl. Dos. (mg/kg)						
2,05	1,32	0,97	0,46	0,38	0,39	0,32
Einfacher mittlerer Fehler						
±0,11	±0,06	±0,06	±0,07	±0,04	±0,04	±0,004

Subkutan letale Dosis (100%) 0,4 mg/kg (innerhalb 5 Std). Die *intraduodenal tödliche Dosis* beträgt etwa das Vierfache der i.v. Dosis letalis, welche bei zweistündiger Infusion erhalten wird. In Auffüllversuchen ließ sich eine gute intraduodenale Resorption von nicht letalen Dosen nachweisen.

2. Katze: Intravenöse Infusion[1]) 1,01 mg/kg ± 11% (Übl.Z. 56 min). *Subkutan letale Dosis* (100%) 0,24 mg/kg (innerhalb 16 Std). Die *intraduodenale tödliche Dosis* beträgt etwa das 0,5fache der i.v. Dosis letalis. In Auffüllversuchen zeigte das Glykosid gute Haftfestigkeit.

3. Hund: Bei *intravenöser Infusion* gilt

Übl.Z. (min)	58,2	123,5
Tödl. Dos. (mg/kg)	0,71	1,07.

Serumbindung: Nach Versuchen am Froschherzen werden 50 bis 60% des Glykosids an Serum gebunden. Gitaloxin ist am *Froschherzen* vorübergehend auswaschbar, seine Fixationszeit beträgt etwa $^2/_3$ der Wirkungszeit. Die Aufbrauchdois ist 0,003 mg/100 mg Froschherz. Bei *klinischer Anwendung* klingt die Wirkung sehr viel schneller ab als die des Digitoxins.

Medizinische Forschungslaboratorien der C.F. Boehringer & Soehne G.m.b.H., Mannheim-Waldhof.

J. D. Achelis und G. Kroneberg.

Eingegangen am 9. Juni 1955.

[1]) Neumann, W., H. L. Merck u. E. Schütz: Klin. Wschr. (im Druck).

Zur Bestimmung des Umladebereiches von Gewebselementen mit dem Fluorochrom Acridinorange.

Die von Pischinger[1]) eingeführte histophysikalische Bestimmung des Umladebereiches (mittlerer isoelektrischer Punkt, IEP_M) von Gewebselementen wird bisher üblicherweise mit einem Paar nicht umladbarer Hellfeldfarbstoffe (Diachrome) oder vereinfacht mit einem basischen Farbstoff, meist Methylenblau, durchgeführt. Es hat sich immer wieder herausgestellt, daß die hierbei erforderliche Festlegung der Grenzwerte des Umladebereiches durch Bestimmung der minimalen und maximalen Farbstoffadsorption Schwierigkeiten bereitet, da die vergleichende Beurteilung der Farbintensität histologischer Färbungen ohne Zuhilfenahme von Meßgeräten meist nur schwer möglich ist. Bei dem basischen Fluoreszenzfarbstoff Acridinorange tritt nun mit zunehmender Adsorption an Gewebselemente an Stelle einer Intensitätssteigerung der Färbung eine Änderung der Farbqualität von Grün nach Rot ein[2]). Wie bereits für pflanzliche[3]), tierische und menschliche Gewebe[4]) gezeigt wurde, ist es daher mit Acridinorange allein möglich, die Umladebereiche von Strukturelementen der Gewebe und Zellen zu bestimmen. Die Grenzwerte der Umladebereiche werden dabei durch die Farbänderungen von Grün nach Gelb und von Gelb nach Orange gegeben.

Da bisher vergleichende Untersuchungen mit beiden Methoden fehlten, haben wir an einer Reihe von tierischen und menschlichen Geweben Bestimmungen des IEP_M einerseits mit Acridinorange und andererseits mit dem Farbstoffpaar Methylenblau-Rubin S vorgenommen. Hierbei zeigte sich, daß in der Bestimmung des Umladebereiches das Fluorochrom Acridinorange den Diachromen überlegen ist. Infolge der durch die Änderung der Farbqualität bedingten genaueren

Feststellung von Konzentrationsänderungen des adsorbierten Farbstoffes läßt sich der Umladebereich stärker als bei den Hellfeldfarbstoffen einengen und somit dessen Bestimmung genauer durchführen. Die mit Acridinorange bestimmten Werte des IEP_M der einzelnen Gewebselemente liegen trotz Verwendung gleicher Puffergemische als Medium der Farbstoffe meist weiter im sauren Bereich als bei Bestimmung mit Diachromen. Die Acridinorange-Methode zur Bestimmung der Umladebereiche ist in gleicher Weise an unfixiertem, in Alkohol oder in Formalin gehärtetem Gewebe verwendbar. Die erhaltenen Werte an gehärteten Geweben waren gegenüber denen des unfixierten Materials um 0,4 bis 0,5 p_H-Einheiten zum sauren Bereich hin verschoben.

Die Versuche wurden am Pathologischen Institut der Universität Münster i. Westf. mit Mitteln und Geräten der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt.

Bonn a. Rh., Pathologisches Institut der Universität.

NORBERT SCHÜMMELFEDER und KARL-FRIEDRICH STOCK.

Eingegangen am 23. Juni 1955.

[1]) PISCHINGER, P.: Z. Zellforsch. **3**, 169 (1926); **5**, 347 (1927).
[2]) STRUGGER, S.: Fluoreszenzmikroskopie und Mikrobiologie. Hannover: M. &. H. Schaper 1949. Dort weitere Literatur.
[3]) STRUGGER, S.: Praktikum der Zell- und Gewebephysiologie der Pflanze. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1949.
[4]) SCHÜMMELFEDER, N.: Virchows Arch. **318**, 119 (1950).

Modification of Grau and Hamm's Method for the Determination of Water-Binding.

GRAU and HAMM's method of determining the water-binding capacity of muscle involves pressing macerates of the muscle onto filter paper under standardised conditions and

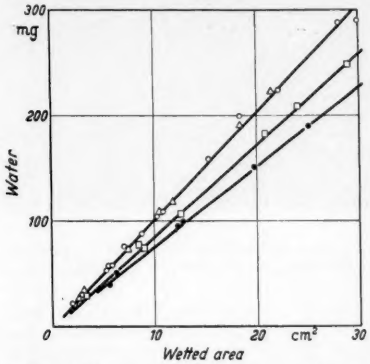


Fig. 1. Relationship between weight of water and wetted areas for press-juices of different water contents. ● distilled water, □ press-juice (cod muscle) containing 97·4% water, ○ press-juice containing 94·0% water, △ press-juice containing 91·7% water.

measuring the area of the paper which is wetted by the expressed "loose" fluid. The weight of water expressed is obtained from the area by previously determining the areas wetted by press-juices of known water contents; the method depends on a proportionality between the wetted areas and the weights of water contained in the press-juices. GRAU and HAMM[1]) find that this proportionality is independent of the kind of muscle from which the press-juice (containing about 87% of water) is obtained. It has now been observed that this is not always true since the proportionality is different for press-juices containing different amounts of water.

The observations in Fig. 1 were obtained by pressing water and cod muscle press-juices containing 91·7, 94·0 and 97·4% water onto 7 cm. circles of Whatman No. 1 filter paper by means of two thick "Perspex" plates fitted with screw clamps. It is seen that there is a different relationship between water content and wetted area for each fluid apart from those for the press-juices containing 91·7 and 94% water which are the same. An increase in water content of the fluids results in a larger wetted area for equal weights of applied water. This means that it is not possible to compare by measurement of wetted areas fluids having water contents higher than about 94% unless the appropriate relationship is established for each fluid. If only one relationship is used the method might give errors of up to 15% where the press-juices contained very variable amounts of water. Since it is not generally possible to predict what the water content of particular press-juices might be, a serious limitation in the method is introduced. This limitation might not be important with beef or pig muscle whose press-juices apparently contain only about 87% water, unless much "additional" water is added, but is certainly important with fish muscle whose press-juices may contain only 8—9% solids even without "added" water.

The difficulty has been overcome by using the more direct method of determining the actual weight of water pressed out onto each filter paper. The muscle macerate (about 200 mg.) is weighed out on a filter paper circle which has been dried to equilibrium weight at 100°, fluid expressed under standard conditions and the squashed muscle residue carefully excised from the paper*). The paper is then weighed again and the water contained on it determined by loss of weight after drying it under the same conditions as it was originally dried. The mean error using this method is about 2—3% (coefficient of variation 3·5). — The possible error involved in using the area method was illustrated in an experiment in which the same sample of muscle was macerated with increasing amounts of added water and the "loose" water in the macerates determined both by the "area" and the "weight" methods.

When the same relationship between wetted area and weight of water (i.e. that relevant to a press-juice containing 94% water) was used for all determinations, the mean percentage differences between the weights of water determined by the "area" method as compared to the "weight" method were −1·1, +1·8, +1·7, +3·5 and +6·4 for macerates to which respectively 20, 40, 60, 80 and 100% additional water had been added.

The work described in this paper was carried out as part of the programme of the Food Investigation Organisation of the Department of Scientific and Industrial Research.

Torry Research Station, Food Investigation Organisation, Department of Scientific and Industrial Research, Aberdeen.

J. J. CONNELL.

Eingegangen am 7. Juni 1955.

*) It was found that the paper could be almost completely removed from the muscle residue which was left adhering to the perspex plate.

[1]) GRAU, R., and R. HAMM: Naturwiss. **40**, 29 (1953).

Über Vorkommen und Verhalten des Thiamindisulfids im Stoffwechsel.

Bereits 1940 haben ZIMA und WILLIAMS über ein antineuritisch wirksames Oxydationsprodukt des Thiamins, das Thiamindisulfid, berichtet und dieses als Bestandteil eines Redoxsystems Thiamin-Thiamindisulfid gedeutet[1]). Weitere Arbeiten dieses Arbeitskreises[2]) brachten Angaben über das physiologische Verhalten des Thiamindisulfids, unter denen besonders die geringere Toxizität und eine gewisse Depotwirkung bemerkenswert ist. Es wurde angenommen, daß das Thiamin unter physiologischen Bedingungen zumindest zum Teil in der Thiolform vorliegt und einer biologischen Oxydation zugänglich ist. Im Thiaminstoffwechsel einer Hefe wurde von MYRBÄCK u. Mitarbeitern[3]) eine phosphorylierte Form des Thiamindisulfids entdeckt, die nach Absorption von Thiamin aus der Kulturflüssigkeit gebildet wird. Mit einem neuen elektrophoretischen Trennverfahren unter Anwendung der bioautographischen Technik mit Lactobacillus fermenti gelang uns der noch ausstehende Nachweis, daß Thiamindisulfid in allen Körperorganen vorhanden und ein Glied des im wesentlichen noch unbekannten Thiaminstoffwechsels darstellt[4]).

Als eine bisher unbekannte Ausscheidungsform des Thiamins wurde das Thiamindisulfid in bemerkenswerter Menge im Harn gefunden. Interessant und möglicherweise für diagnostische Zwecke von Bedeutung ist die Tatsache, daß zwar immer der Pyro- und Monophosphorsäureester des Thiamins (ThPPE, ThPE) im Harn gefunden werden, Thiamindisulfid (ThDS) oder Thiamin jedoch fehlen können, ebenso wie alle vier Formen vorhanden sein können. Weiterhin läßt sich das ThDS neben anderen Thiaminderivaten mit einsetzender Keimung in Pflanzensamen nachweisen, die im Ruhezustand nur Thiamin enthalten. Besonders reich scheinen die Stellen intensiven Wachstums (Sproß- und Wurzelspitze) zu sein. Nach intravenöser Injektion von 30 mg ThDS stellt sich sofort nach der Injektion zwischen Thiamin und dessen Disulfid ein Gleichgewicht ein, das auch bei der Abnahme des Gesamtthiamins im Blut konstant bleibt. Dieses Verhältnis stellte sich auch nach der Zugabe von ThDS zu dem Blut der betreffenden Versuchsperson in vitro ein, während bei einer Anzahl anderer in vitro-Versuche abweichende Verhältnisse ge-

funden wurden. Der Beziehung zwischen dem SH-Spiegel und dem Thiaminstoffwechsel unter besonderer Berücksichtigung des ThDS müssen eingehendere Untersuchungen gewidmet werden.

Über die qualitativen Ausscheidungsverhältnisse im Harn bei dem oben angeführten Bilanzversuch gibt die Fig. 1 Auskunft. Die quantitative Verfolgung der Gesamtthiaminausscheidung zeigte, daß im Vergleich zu appliziertem Thiamin erst nach wesentlich längerer Zeit der vor der Injektion bestehende Normalwert erreicht wird.

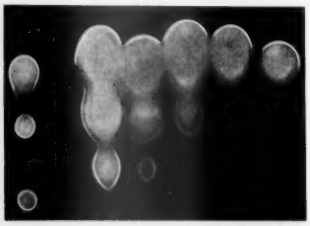


Fig. 1. Ausscheidungsformen des Thiamins im Harn nach 30 mg ThDS intravenös. Je Startloch 40 mm³ Harn, Bioautographie mit L. fermenti. [Die Startlöcher liegen 15 mm unterhalb des unteren Randes der Figur.] — *St* Standard (oben Th, Mitte ThDS, unten ThPE). Zeiten 30 min, 2, 3, 5 und 7 Std nach der Injektion.

Für die freundliche Überlassung verschiedener Derivate des Thiamins sind wir Herrn Dr. O. Zima (E. Merck, Darmstadt) zu besonderem Dank verpflichtet.

Potsdam-Rehbrücke, Anstalt für Vitaminforschung und Vitaminprüfung.

Günther Marten.

Eingegangen am 31. Mai 1955.

[1]) Zima, O., u. R. R. Williams: Ber. dtsch. chem. Ges. **73**, 941 (1940).

[2]) Zima, O., K. Ritsert u. Th. Moll: Hoppe-Seylers Z. **267**, 210 (1941). — Zima, O., G. Göttmann, A. Hoffmann, L. Hepding, u. R. Hotovy: Jber. E. Merck **7**, 1 (1953).

[3]) Myrbäck, K., I. Vallin u. E. C. Lundgren: Sv. kem. Tidskr. **56**, 296 (1944).

[4]) Marten, G.: Nature [London] (im Druck).

Elektronenmikroskopische Beobachtungen an Geißeln von E. coli.

Zur Untersuchung des Feinbaues von Bakteriengeißeln im Elektronenmikroskop sind Aufnahmen von sehr hohem Auflösungsvermögen notwendig. Houwink und van Iterson[1]) glaubten, in ihren Geißeluntersuchungen an verschiedenen Bakterien eine Querstruktur feststellen zu können, während Knyasi[2]) die Flagellen als strukturlose Fibrillen beschreibt. De Robertis und Franchi[3]) machten bei Geißeln von Bact. brevis nach Trypsineinwirkung eine schraubenförmige Feinstruktur wahrscheinlich. Eindeutig haben P. Starr und R. C. Williams[4]) bei Flagellen von Diphteriebakterien einen schraubigen Feinbau gefunden.

Wie schon seit einigen Jahren bekannt, zeigt E. coli zweierlei Organellen: große Geißeln, die häufig Aggregationen, die „Riesenzöpfe", bilden; ferner kleine, dünne Fibrillen, die von Houwink als Filamente bezeichnet werden. Im Laufe von vergleichend morphologischen Untersuchungen an verschiedenen Coli-Stämmen konnte an den Geißeln mehrfach eine Feinstruktur beobachtet werden. Die Bakterien wurden bei 37° auf festem Nährагar kultiviert und mittels Agarfixation nach Liebermeister für das Elektronenmikroskop präpariert. Als Fixierungsmittel wurden 2 und 5% Formalin verwandt. Auf Fig. 1 und 2 sind Randpartien von Coli-Bakterien mit Geißeln und Fibrillen bei niedriger Vergrößerung zu sehen. Die Flagellen messen 250 bis 270 Å, die Fibrillen etwa 100 Å im Querschnitt. Infolge der grobkörnigen Aufdampfschicht kann hier eine Feinstruktur nicht eindeutig festgestellt werden. Fig. 3 zeigt Geißeln und Fibrillen einer anderen Präparation bei hoher Vergrößerung. Die Durchmesser der Organellen sind dieselben wie in Fig. 1 und 2. Einige Geißeln zeigen eine schraubige Oberflächenstruktur, die wiederholt beobachtet werden konnte. Die Schraube erschien dreifach rechts gedreht, der Abstand für eine Periode längs der Geißelachse beträgt etwa 640 bis 660 Å.

Die Geißeln und Fibrillen von E. coli bestehen aus Faserproteinen und gehören auf Grund röntgenspektroskopischer Untersuchungen[5]) zur k-m-e-f-Gruppe. Die beobachtete schraubige Struktur der Flagellen ist mit großer Wahrscheinlichkeit durch eine Verzwirnung kleinerer Längselemente zu Kabeln entstanden. Als Material dafür können die Fibrillen in Frage kommen, die einfach gebaute myosin- bzw. actinähnliche Proteine darstellen und in ihrer Längsrichtung wahrscheinlich nicht mehr gespalten werden können, wie bei Prot. vulg.[1]) nachgewiesen werden konnte. Für diese Erklärung spricht das Austreten kleinerer Fibrillenstückchen unmittelbar aus den großen Geißeln heraus, wie auf Fig. 1 mehrfach zu sehen ist. Der Durchmesser dieser Stücke stimmt außerdem mit den aus dem Bakterienkörper austretenden

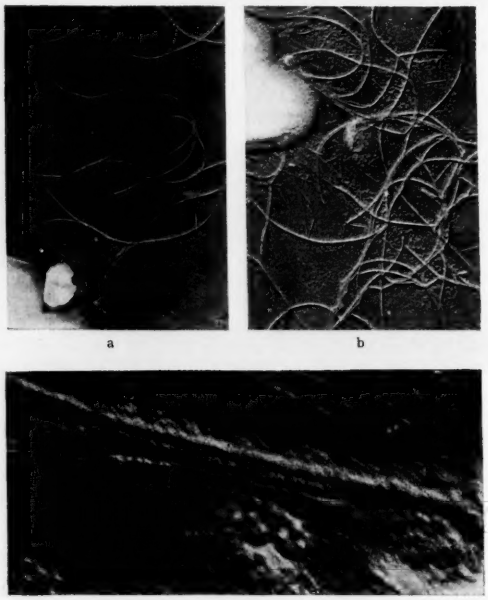


Fig. 1a—c. Geißeln und Fibrillen von E. coli. a 11 100mal, Pt-bedampft; b 14 800mal, Pt-bedampft; c 73 000mal, WO_4-bedampft.

Fibrillen überein. Dieser Befund konnte in den meisten Präparationen immer wieder bestätigt werden. Das Zusammentreten von Mikrofibrillen zu schraubenförmig gedrehten größeren Einheiten entspricht auch den Vorstellungen, die Pauling und Corey[6]) auf Grund neuer Interpretationen der Röntgendiagramme von Polypeptidketten der k-m-e-f-Gruppe entwickelten.

Mit Unterstützung der Forschungsgemeinschaft.

Radiologisches Institut der Universität, Freiburg i. Br. (Direktor: Prof. Dr. H. Langendorff).

H. Braun.

Eingegangen am 2. Juni 1955.

[1]) Houwink, A. L., u. W. van Iterson: Biochim. et Biophysica Acta **5**, 10 (1950).

[2]) Knyasi, G.: Elements of bacterial cytology. Ithaca, New York 1951.

[3]) De Robertis, E., u. C. M. Franchi: Exp. Cell Res. **2**, 295 (1951).

[4]) Starr, M. P., u. R. C. Williams: J. Bacteriol. **66**, 701 (1952).

[5]) Astbury, W. T.: Brit. J. Dermat. **62**, 1 (1950).

[6]) Pauling, L., u. R. B. Corey: Nature [London] **171**, 59 (1953).

Die Beteiligung von Konvergenz und Akkommodation an der wahrgenommenen Größenkonstanz.

Bekanntlich wird ein beidäugig betrachteter sich nähernder Gegenstand innerhalb gewisser Grenzen *etwa* gleich groß gesehen, obschon — wie sich aus dem Strahlengang und aus Größenmessungen mit Hilfe eines auf einen Maßstab projizierten Nachbildes ergibt — sein Abbild auf der Retina entsprechend der Kurve *a* in Fig. 1 anwächst. Das Phänomen trägt den Namen „*Größenkonstanz der Sehdinge*" (Hering). Man kann die Präzision dieser Konstanzleistung prüfen, indem

man die objektive Größe des sich nähernden Gegenstandes so ändert, daß seine *gesehene* Größe genau konstant bleibt. Aus der hierzu erforderlichen Größenänderung des Objekts errechnet sich (als deren Kehrwert) die Kurve *b* der Fig. 1 für die Konstanzapparatur; sie kommt dem Ideal eines horizontalen Verlaufs sehr nahe*). Die Differenz zwischen *a* und *b*

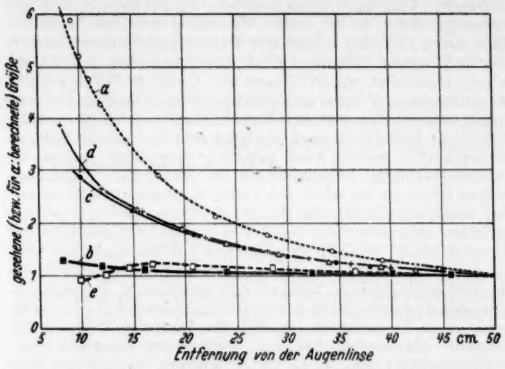


Fig. 1. Die gesehene Größe eines Objekts in Abhängigkeit von seiner Entfernung vom Auge. Die Größe in 50 cm Entfernung ist als Einheit gesetzt; ihr entspricht ein Sehwinkel von etwa 8°. *a* Größe des Retinabildes, berechnet (---------) und nach dem Nachbildverfahren gemessen (○). — *b*, *c*, *d* Gesehene Objektgröße, *b* bei beidäugigem Fixieren (■), *c* bei konstant gehaltener Akkommodation (●), *d* bei konstant gehaltener Konvergenz von 40° (+) bzw. 20° (△); *e* Summe der Abstände der Kurven *c* und *d* von *a*.

ist ein Maß für die enorme Leistung dieses Korrekturapparates. Als Organe hierfür kommen die Mechanismen der Konvergenz (1) und der Akkommodation (2) in Frage. Beide sind miteinander zentral gekoppelt, aber bei manchen Personen willkürlich voneinander trennbar, so daß der Anteil eines jeden getrennt untersucht werden kann.

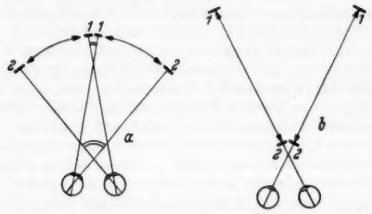


Fig. 2a u. b. Skizzen der Versuchsverfahren. In a wird nur die Konvergenz, in b nur die Akkommodation verändert. Die Breite der zur Deckung gebrachten und als größenkonstant wahrgenommenen Objekte ist für die beiden Extremstellungen (1 und 2) angedeutet.

Zu (1): Man fixiert mit beiden Augen bei gekreuzten Gesichtslinien zwei gleichgroße Objekte (z.B. Dreiecke) und bringt sie zur Deckung (Skizze Fig. 2a). Bei gleichbleibender Entfernung von den fixierenden Augen wird nun ihr gegenseitiger Abstand geändert, so daß den Augen (unter Mithilfe des Fusionszwanges) Konvergenzwinkel von 7 bis 60° aufgezwungen werden, während die Akkommodation konstant bleibt. Mit zunehmender Konvergenz nimmt die gesehene Größe der gleichbleibenden Objekte rapide ab („Konvergenzmikropsie"). Die Objektgröße wird jetzt in einer bestimmten, durch Probieren gewonnenen Kurvenform so geändert, daß die gesehene Größe im ganzen Konvergenzbereich genau konstant ist. Aus dem jeweiligen Konvergenzwinkel und der dazugehörigen Objektgröße errechnet sich (als deren Kehrwert) der Anteil des Konvergenzmechanismus an der Korrektur des Retinabildes: Kurve *c* der Fig. 1.

Zu (2): Mit überkreuzten Gesichtslinien werden wiederum zwei gleiche Objekte betrachtet und zur Deckung gebracht. Doch werden sie jetzt bei gleichbleibendem Konvergenzwinkel den fixierenden Augen von 50 cm bis auf 8 cm angenähert (Skizze Fig. 2b). Wieder wird ihre objektive Größe in durch Probieren gewonnener Kurvenform so geändert, daß die *gesehene* Größe im ganzen Entfernungsbereich konstant ist. Aus den Meßdaten errechnet sich der Anteil des Akkommodationsmechanismus an der Korrektur des Retinabildes: Kurve *d* der Fig. 1. Dieser Anteil ist etwa gleich dem Anteil der reinen Konvergenz.

Kurve *c* und *d* liegen ungefähr in der Mitte zwischen *a* und *b*; addiert man den jeweiligen Abstand zwischen *a* und *c* und zwischen *a* und *d*, so erhält man Kurve *e*, die mit hinreichender Genauigkeit mit *b* zusammenfällt. Die Übereinstimmung von Kurve *b* und *e* ist besser, als es auf den ersten Blick scheint; denn an keiner Stelle weicht die Summe der Bildverkleinerungen beider einzelner Mechanismen um mehr als 8% vom geforderten Wert ab. Das bedeutet, in Worten ausgedrückt: Das bei Annäherung eines Gegenstandes anwachsende Retinabild wird durch die Tätigkeit entweder des Konvergenzmechanismus allein oder des Akkommodationsmechanismus allein jeweils zentral so verkleinert, daß seine Konstanz gerade zur Hälfte erreicht ist. Sind beide Mechanismen gleichzeitig in Funktion, so addiert sich ihre Korrekturleistung.

So arbeiten also Konvergenz und Akkommodation in der *einfachsten* Weise, nämlich zu gleichen Anteilen und additiv, zusammen, um uns die Dinge so groß sehen zu lassen, wie sie „wirklich" sind.

Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie, Wilhelmshaven.

ERICH VON HOLST.

Eingegangen am 2. Juni 1955.

*) Alle Kurven sind an mir gewonnen; mit kleinen individuellen Unterschieden ist, nach Stichproben mit anderen Versuchspersonen, zu rechnen.

Ist der Einfluß der Akkommodation auf die gesehene Dinggröße ein „reflektorischer" Vorgang?

Die Größenkonstanz der Sehdinge wird durch additives Zusammenspiel des Konvergenz- und des Akkommodationsmechanismus bewirkt, welche zu etwa gleichen Anteilen das anwachsende Retinabild eines sich nähernden Gegenstandes auf seinem Wege zur Wahrnehmung verkleinern (und umgekehrt das Bild des sich entfernenden Gegenstandes vergrößern).

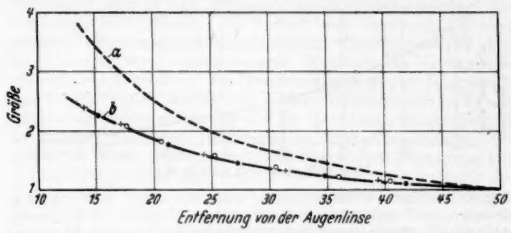


Fig. 1. *a* Änderung der Größe des Retinabildes eines Objekts mit der Entfernung vom Auge. *b* Änderung der gesehenen Größe eines Objekts bei konstanter Konvergenz (20°) unter verschiedenen experimentellen Bedingungen. Die Größe in 50 cm Entfernung ist als Einheit gesetzt.

Es entsteht die Frage, ob diese zentrale Korrektur durch Rezeptoren in Gang gesetzt wird, welche in den Augenmuskeln durch die Konvergenzbewegung, im Bewegungsapparat der Linse durch die Akkommodationsbewegung gereizt werden. Die heute übliche Auffassung nervöser Funktionssysteme wird diese Frage ohne weiteres bejahen. Doch läßt sich für die Akkommodation das Gegenteil beweisen.

Wenn man bei gekreuzten Gesichtslinien und gleichbleibendem Konvergenzwinkel zwei fixierte und zur Deckung gebrachte Objekte (Dreiecke) den Augen nähert und sie dabei in dem Maße kleiner werden läßt, daß sie der Wahrnehmung konstant erscheinen, so ergibt sich als Kehrwert der erhaltenen Meßdaten die Kurve *b* der Fig. 1. Sie gibt an, um wieviel ein gleichgroß bleibendes Objekt bei Annäherung größer gesehen wird, während Kurve *a* der Fig. 1 das gleichzeitige Anwachsen seines Abbildes auf der Retina wiedergibt (vgl. auch voranstehende Mitteilung). Wird nun der periphere Akkommodationsapparat des einen Auges durch Atropin stillgelegt, so daß dieses Auge unverändert auf Ferne eingestellt bleibt, dann lassen sich folgende Varianten des eben skizzierten Experimentes ausführen:

1. Das gelähmte Auge fixiert (um den Konvergenzwinkel festzuhalten) einen fernen unbewegten Leuchtpunkt, während mit Hilfe des intakten Auges ein aus 50 cm sich näherndes Objekt auf genaue Größenkonstanz eingestellt wird. Aus der dazu erforderlichen Änderung der Objektgröße errechnet sich

eine Kurve (●—● der Fig. 1), welche mit der Kurve für *zwei* intakte akkommodierende Augen zusammenfällt. Der Akkommodationsmechanismus des intakten Auges bleibt also durch den Ausfall auf der anderen Seite unberührt, seine Verkleinerungsleistung erleidet keine Abschwächung. Beide Augen und zugehörigen zentralen Apparate führen unabhängig ihre Größenberechnung aus.

2. Man bietet dem Akkommodations-gelähmten Auge in 4 bis 5 m Entfernung ein von ihm scharf gesehenes Objekt (Dreieck), welches so groß ist, daß sich sein Abbild mit dem des 50 cm entfernten Objektes für das intakte Auge genau deckt (Skizze Fig. 2). Dann setzt man durch Annäherung des nahen Objektes an das intakte Auge wie bei (1) das Akkommodationskommando in Gang, dem jedoch nur das intakte Auge folgt, während das gelähmte den fernen Gegenstand unverändert scharf abbildet. Es zeigt sich, daß dabei das entfernte, vom gelähmten Auge gesehene Objekt, trotz gleichbleibender Größe des Retinabildes, seine wahrgenommene Größe nicht beibehält, sondern erheblich kleiner wird („Akkommodationsmikropsie"). Fig. 3 zeigt, um wieviel dieses Objekt *vergrößert* werden muß, um größenkonstant gesehen zu werden und mit dem vom intakten Auge gesehenen Objekt zu einem in jeder Entfernung scharfen Bilde zu verschmelzen. Entnimmt man den Daten von Fig. 3, um wieviel demnach das Retinabild des gelähmten Auges bei zunehmender „gewollter" Naheinstellung kleiner gesehen wird, so liegen die Werte (○—○) wiederum auf Kurve *b* der Fig. 1. Dieser Korrekturprozeß läuft also bei intaktem wie gelähmtem peripherem Mechanismus *quantitativ gleich* ab.

Fig. 2. Skizze zur Erläuterung des Versuchs mit einem atropingelähmten und einem intakten Auge. Die Breite der zur Deckung zu bringenden Objekte ist ungefähr angedeutet.

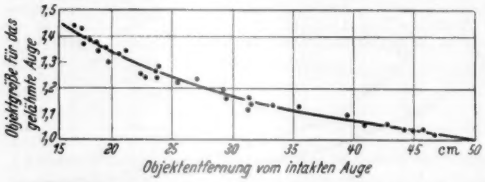


Fig. 3. Objektive Größenzunahme eines mit atropinisiertem Auge fixierten und größenkonstant gesehenen Objektes (Entfernung: 425 cm) bei gleichzeitiger Akkommodation des intakten Auges auf ein aus 50 cm Entfernung sich näherndes Objekt (vgl. Fig. 2).

Da aber bei Ausfall der Akkommodationsbewegung ein etwaiger, durch sie verursachter Reflex erlöschen müßte, so kann es sich hier nicht um einen solchen reizbedingten Vorgang handeln. Als Ursache für die zentrale Bildverkleinerung kommt allein das Akkommodationskommando selbst in Frage.

3. Wird das gelähmte Auge bis auf ein kleines Loch von etwa 0,5 mm Weite abgedeckt, dann ist ein Scharfsehen bis in die Nähe (unter Helligkeitsverlust) möglich. Wiederholt man nun den Versuch so, daß sich *beiden* Augen zwei Objekte von 50 cm Entfernung her annähern, so decken diese sich nur dann und erscheinen größenkonstant, wenn sie jeweils gleich groß sind und übereinstimmend in dem Maße verkleinert werden, wie es für zwei *intakte* Augen erforderlich ist (+—+ Fig. 1). Das bestätigt wiederum den aus (2) gezogenen Schluß.

Die Konstanzleistung des Akkommodationsmechanismus ist also ein Vorgang rein *zentraler* Natur. Es spricht einiges dafür, daß das gleiche auch für die Konstanzleistung des Konvergenzmechanismus gilt.

Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie, Wilhelmshaven.

ERICH VON HOLST.

Eingegangen am 2. Juni 1955.

Magermilch erhält Lebernekrose-verursachende Eigenschaften beim technischen Trocknen †).

Ein Beitrag zur alimentären Lebernekrose der Ratte.

Die Diät, die wir bei unseren unlängst in dieser Zeitschrift[1]) veröffentlichten Versuchen an jungen Albinoratten verwendeten, war die folgende (in Prozenten der Trockensubstanz): Milchpulver (oder entsprechende Mengen frischer, nach anerkannten Pasteurisierungsverfahren behandelter Magermilch) 25,0; Bierhefe 1,5; Salzgemisch nach McCOLLUM 3,3; Lebertran 2,7; Weizenstärke 67,5. Trotz ihrer „monochromatisch" erscheinenden Eiweißzusammensetzung ist diese Diät für das rasche Wachstum von jungen Albinoratten grundsätzlich suffizient. Dies geht unter anderem daraus hervor, daß am Leben gelassene, in der ersten Mitteilung erwähnte Kontrolltiere, deren Nahrung in analoger Weise unter Verwendung von *frischer* Magermilch bereitet wird, inzwischen ohne Schädigung schon Lebensalter von 395 Tagen und Gewichte bis zu 400 g*) in sehr raschem Wachstum erreicht haben, während, wie mitgeteilt, die Ratten mit der Trockenmagermilchdiät zu 86% (bisheriger Mittelwert) nach zunächst sehr raschem und gutem Wachstum**) jeweils ganz plötzlich verendeten, wobei ernährungsbedingte Lebernekrosen in schwerster Form, bei einigen Gruppen bei 100% der Tiere, die Todesursache waren. Für diesen überraschenden Befund, der im Laufe von 3 Jahren an bisher 24 jeweils frisch bezogenen Chargen von Magermilchpulver in bisher 16 Gruppenversuchen mit insgesamt 217 Versuchstieren untermauert wurde, kann man unseres Erachtens nur Veränderungen im Verlaufe des technischen Trocknungsprozesses verantwortlich machen. Dabei verstehen wir unter technischem Trocknen summarisch den gesamten Weg von der „nassen" Magermilch bis zum verpackten marktgängigen Trockenprodukt, das in die Ernährung von Mensch und Tier gelangt. Ob und in welchem Ausmaße die perniziösen Veränderungen, die allerdings von uns zunächst nur an wachsenden Ratten festgestellt wurden, während der einzelnen Phasen der Herstellung (Vorerhitzung (?), eigentliche Erhitzung, Abkühlen, Verpacken, Versenden, Lagerung) passieren oder welche sonstigen Faktoren (Wassergehalt des Milchpulvers, Feuchtigkeitsgehalt des Trockenraums) dabei eine Rolle spielen, schien uns für den Grundeffekt zunächst von nebensächlicher Bedeutung. Damit soll die Wichtigkeit von Versuchen in dieser Richtung nicht herabgemindert werden, welche die Überprüfung und Verbesserung der üblichen technischen Milchtrocknungsverfahren in ihren einzelnen Arbeitsabschnitten zum Ziele haben.

Die von uns angekündigten Versuche mit Magermilchpulvern verschiedener Trocknungsart mit dem Endziel, die jeweils bestmöglichen, schonendsten Trocknungsbedingungen zu finden, haben zu dem viel versprechenden Ergebnis geführt, daß schon die beiden bisher von uns untersuchten Trockenmagermilchpulver, nach dem Zerstäubungstrocknungsverfahren [Sprühmilchpulver[2])] hergestellt, sich viel weniger nekrogen für junge Ratten erwiesen als das bisher verwendete Walzenprodukt[2]), deklariert als „von besonders hoher Löslichkeit", „getrocknet auf einem Feinschichteinwalzentrockner". Von je 16 eingesetzten Jungratten — wieder selbst aufgezogene Geschwistertiere unseres Inzuchtstammes — verendeten von denjenigen, die mit der Walzenprodukt-Diät aufgezogen wurden, 16 Tiere unter den gleichen schweren Symptomen der alimentären Lebernekrose wie bei den früher veröffentlichten Versuchen. Bei der Sprühmilch-Diät gingen bisher von den 16 Tieren nur 5 an Lebernekrose ein; der Rest hat bereits die bei unseren Versuchen übliche Versuchszeit um ein beträchtliches überlebt. Der Versuch sollte aber trotz seiner eindeutigen Aussagen wiederholt werden, da aus technischen Gründen bei der Herstellung der Trockenprodukte bisher noch nicht von ein und derselben Magermilch ausgegangen werden konnte. Bezüglich des Milchtrocknungsproblems zeigt dieser Versuch aber immerhin, daß es in weiteren Untersuchungen möglich sein dürfte, wirtschaftlich tragbare, optimale Trocknungsbedingungen für die Magermilch zu finden***). Bei der zunehmenden Bedeutung der Milchtrocknung, speziell der Herstellung von Trockenmagermilch, erscheint dies wertvoll nicht nur im Hinblick auf ihre bisherigen Verwendungen in der Nahrungsmittelindustrie, sondern auch im Hinblick auf die z.B. in Frankreich[3]) geplante Versorgung tropischer Gebiete mit dem dort fast immer mangelnden tierischen Eiweiß aus den Milchüberschüssen der gemäßigten Zonen. Das gleiche gilt für die Aufzucht von Kälbern mit Trockenmilch zur Eindämmung der Rindertuberkulose und für die Aufzucht anderer landwirtschaftlicher Nutztiere.

Was den Chemismus der perniziösen Veränderung betrifft, so glauben wir nach unseren bisherigen Ergebnissen weniger an die Entstehung einer Noxe als an die Störung des harmonischen Verhältnisses der Aminosäuren, verursacht durch Inaktivierung, MAILLARD-Reaktion oder Blockierung[4]) besonders der essentiellen, speziell der schwefelhaltigen Aminosäuren, eine Ansicht, die von uns schon 1947 bei unseren Arbeiten an Mikrobeneiweißen vertreten wurde.

In diesem Zusammenhang soll auf unseren früheren Befund hingewiesen werden, daß, wenn man in der nekrogenen Trokkenmagermilchdiät etwa $^1/_7$ des verdaulichen Eiweißes, das zu 92% aus Magermilcheiweiß besteht, durch Roggen- und Weizeneiweiß ersetzt, keine Nekrosen auftreten. Das Cerealeiweiß, obwohl selbst in seiner Aminosäure-Konstellation nicht vollwertig, ergänzt das beim Trocknen veränderte Milcheiweiß, indem es offenbar die beim Trocknen ganz oder teilweise inaktivierten Aminosäuren wieder auffüllt. — Auch gelang es uns, durch kleine Vitamin E-Zusätze diese Leberschäden zu verhüten.

Institut für Gärungswissenschaft und Enzymchemie der Universität, Köln, und Landwirtschaftliche Fakultät der Universität, Bonn. HERMANN FINK und ILSE SCHLIE.

Eingegangen am 14. Mai 1955.

†) III. Mitteilung.

*) Die Frage, ob die inzwischen ausgewachsenen Tiere auch fortpflanzungsfähig sind, prüfen wir zur Zeit noch. Sie ist aber von sekundärem Interesse für unsere Hauptproblemstellungen. Die bisherigen tastenden Versuche verliefen in negativer Richtung, was angesichts der Vitamin E-Armut dieser Diäten nicht weiter verwunderlich wäre. — Es blieben inzwischen auch *alle* später mit der Diät mit frischer Magermilch (bisher 33 verschiedene Proben) aufgezogenen Ratten (bisher 33 Tiere) am Leben.

**) Nach dem Verlauf der Wachstumskurven allein müßte man dem verwendeten Magermilchpulver eine sehr hohe biologische Wertigkeit zusprechen.

***) Die offenbar schonendere Gefriertrocknung kommt wegen der Kosten für Magermilch wohl kaum in Frage und muß zunächst auf Frauenmilch beschränkt bleiben.

[1]) FINK, H., u. I. SCHLIE: Naturwiss. 42, 21 (1955).

[2]) Siehe ROEDER, G.: Grundzüge der Milchwirtschaft und des Molkereiwesens. Hamburg-Berlin: Parey 1954. — WÄLZHOLZ, G.: Die Technik in der Milchwirtschaft. Stuttgart: S. Hirzel 1953.

[3]) Privatmitteilung von Herrn Professor Dr. GENEVOIS, Bordeaux. — Wir vermuten, unter anderem zur Bekämpfung der dort weitverbreiteten Eiweiß-Mangelkrankheit „Kwashiorkor" des Kindesalters, bei der übrigens auch unseres Erachtens nicht unähnliche Leberveränderungen beobachtet wurden.

[4]) SCHORMÜLLER, J.: Berliner med. Z. 2, 308 (1951).

Die hepatogene Herzinsuffizienz.

Nachdem REIN[3]) die Bedeutung des Milz-Leber-Systems für den Herzmuskel des Hundes in klassischen Experimenten nachgewiesen hatte, lag es nahe, auch beim leberkranken Menschen nach entsprechenden Störungen zu suchen. Daß diese tatsächlich vorhanden sind, konnten wir bereits 1953 mitteilen[2]). In der folgenden Zeit fanden wir an einem Krankengut von 115 Leberkranken (55 akute Hepatitiden, 24 Lebercirrhosen und 36 Leberschäden anderer Ursachen) in 78% aller Fälle Störungen der nach BLUMBERGER[1]) gemessenen Herzdynamik. Mehr als die Hälfte aller Leberkranken zeigte sogar jenes für die Herzinsuffizienz typische Absinken des Quotienten aus isotonischer und isometrischer Kontraktionsphase auf Werte unter 2,50[1]). Diese Störungen der Herzdynamik schwinden mit der Ausheilung des Leberparenchymschadens und zeigen keine kausale Abhängigkeit von den dabei bestehenden Abweichungen des Serumgehaltes an Gallensäuren und Bilirubin sowie den bekannten Veränderungen des humoralen Blutbildes. Medikamentös läßt sich die pathologische Herzdynamik mit Strophanthin oder Digitoxin, den Hormonen der Nebennierenrinde, besonders deren Gesamtextrakten (Pancortex), Vitamin B_1, besonders Cocarboxylase (Berolase) und B-Vitamin-Gesamtkomplex innerhalb von 10 min nach der i.v.-Injektion normalisieren. Auf Grund dieser therapeutischen Erfolge kamen wir zu der Vermutung, daß der hepatogen gestörten Herzdynamik des Menschen ein pathologisches Stoffwechselgeschehen im Myokard zugrunde liegen müsse.

Zur Klärung dieser Frage untersuchten wir nach grundlegenden Vorversuchen über die Einwirkung verschiedener Narkotika, der Laparotomie an sich, der Abbindung der unteren Hohlvene usw., den Glykogengehalt weißer Laboratoriumsratten nach der in Anlehnung an das PFLÜGERsche Prinzip besonders von SCHUMANN[4]) entwickelten Methode jeweils 5 min nach der Splenektomie oder nach Abklemmen der abführenden Lebergefäße. Dabei fanden wir regelmäßig eine statistisch signifikante Erhöhung des Herzglykogens. Setzt man nun ein solches Herz, dem der Schutz seines Milz-Leber-System[3]) fehlt, einer akuten Sauerstoffnot durch Injektion von Adrenalin aus, so beobachtet man schon nach kurzer Zeit einen starken Abfall der Herzfrequenz[2]), dem elektrokardiographisch nachweisbare, schwere Störungen der Reizleitung und -bildung zugrunde liegen. Nicht selten erliegen solche Tiere der Sauerstoffnot, obwohl sie dieselbe Adrenalindosis ($^1/_5$ bis $^1/_4$ mg) vorher bei intakter Funktion des Milz-Leber-Systems ohne erkennbare Störungen vertragen hatten. Der Glykogengehalt solcher Herzen ohne Milz-Leberschutz ist nun trotz der massiven Adrenalindosis weiterhin signifikant erhöht, während an normalen Tieren ein charakteristischer Glykogensturz in Erscheinung tritt, den SCHUMANN[4]) erstmals nachweisen und den wir bestätigen konnten. Daraus folgt, daß der Herzmuskel ohne ein normal funktionierendes Milz-Leber-System in der Sauerstoffnot nicht mehr von seinem anaeroben Energiekapital[4]) Gebrauch machen kann und daher erstickt.

Die beim Menschen als wirksam befundenen, bereits genannten Stoffe erweisen sich auch im Tierexperiment als voll wirksam, indem sie die bestehende Blockade zu durchbrechen und das Herzglykogen auf normale oder sogar der Adrenalindosis entsprechend unternormale Werte[4]) zu senken in der Lage sind.

Auf Grund dieser Untersuchungen, deren ausführliche Publikation demnächst erfolgen wird, kommen wir zu folgenden Ergebnissen: Beim leberkranken Menschen treten in der Mehrzahl aller Fälle reversible Störungen der mechanischen Herzmuskeltätigkeit auf, die auf Grund tierexperimenteller Befunde Ausdruck von Störungen im Energiestoffwechsel des Myokards sein dürften. Es handelt sich demnach um eine primäre Herzmuskelstörung im Sinne von WIGGERS[5]). Die im Tierexperiment nachgewiesene Blockade der Glykogenolyse, die zur Erstickung des Herzmuskels in akuter Sauerstoffnot führen kann, dürfte mit großer Wahrscheinlichkeit auf einer tiefgreifenden Störung der für die Energieübertragungen so eminent wichtigen, intermediären Phosphorylierungen beruhen, in deren Zentrum möglicherweise eine Hemmung der Adenosintriphosphatase steht. Ob nach Ausschaltung des Milz-Leber-Systems derartige Stoffwechselstörungen lediglich im Myokard entstehen oder aber ob es sich dabei nur um ein Teilgeschehen einer übergeordneten Störung des Kohlenhydratstoffwechsels handelt, läßt sich im Augenblick noch nicht sicher entscheiden, wenn auch gewisse von uns in dieser Richtung bereits angestellte, orientierende Versuche mehr für die zweite Möglichkeit zu sprechen scheinen.

Halle a. d. Saale C 2, I. Medizinische Universitätsklinik. UDO KÖHLER.

Eingegangen am 27. Mai 1955.

[1]) BLUMBERGER, KJ.: Erg. inn. Med. 62, 424 (1942). — Klin. Wschr. 1948, 353.

[2]) KÖHLER, U.: Dtsch. Gesundheitswesen 32, 1001 (1952). — Verh. dtsch. Ges. Kreislaufforsch. 19, 300 (1953).

[3]) REIN, H.: Klin. Wschr. 1942, 873. — Pflügers Arch. 253, 309, 435 (1951). — REIN, H., u. O. KRAYER: Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, math.-physik. Kl. 3, 13, 209 (1939). — REIN, H. u. Mitarb.: Naturwiss. 36, 233, 260 (1949).

[4]) SCHUMANN, H.: Erg. inn. Med. 62, 869 (1942). — Der Muskelstoffwechsel des Herzens. Darmstadt: Steinkopff 1950.

[5]) WIGGERS, C. J.: Circulatory dynamics. New York 1952.

Besprechungen.

Pöschl, Th.: Lehrbuch der technischen Mechanik für Ingenieure und Physiker. Zum Gebrauche bei Vorlesungen und zum Selbststudium. Bd. II.: Elementare Festigkeitslehre. 2. Aufl. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1952. VII, 244 S. u. 159 Abb. DM 16.50, Gzl. geb. DM 19.50.

Das vortreffliche Werk, das sich seit 1936 einen geachteten Platz unter den Lehrbüchern über Festigkeitslehre erworben hat, liegt jetzt in 2. Auflage vor. Gegenüber der 1. Auflage [Besprechung in Naturwiss. 24, 621 (1936)] sind einige Änderungen und Ergänzungen vorgenommen worden, von denen als wichtigste die Erweiterung und systematische Gliederung der Berechnungsverfahren statisch unbestimmter Systeme genannt sei. Das Buch wendet sich in erster Linie an den werdenden Ingenieur und richtet seine Stoffauswahl nach dem

Ziel aus, die traditionelle „elementare" Festigkeitslehre darzustellen. In diesem Rahmen werden nach einleitendem Abriß der Grundlagen der Elastizitätstheorie und Werkstoffkunde die Grundbeanspruchungen der einfachen Bauelemente, nämlich Biegung des geraden und gekrümmten Stabes, Zug und Druck, Schub, Torsion, Knickung, ferner einige zusammengesetzte Beanspruchungen abgehandelt, woran sich kurze Abschnitte über die Arbeitssätze, über Träger auf nachgiebiger Bettung und über elastische Schwingungen anschließen.

Überall fällt angenehm die konzentrierte und doch klar verständliche Darstellung der theoretischen Zusammenhänge auf, die durch eine Fülle gut ausgewählter und bis ins einzelne durchgerechneter Beispiele ergänzt wird. Das Buch bringt so auch in seiner 2. Auflage auf erfreulich geringem Raum zuverlässige Belehrung über die Grundtatsachen der technischen Festigkeitslehre, und zwar nicht nur den Studenten unserer Technischen Hochschulen, sondern jedem, der einen Zugang zu diesem schönen Fach sucht.

E. METTLER (Karlsruhe).

Spenke, E.: Elektronische Halbleiter. Eine Einführung in die Physik der Gleichrichter und Transistoren. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1955. XX, 379 S. u. 184 Abb. DM 34.50.

In einer Reihe zusammenfassender Vorträge zu Physiker-Tagungen und anderen Anlässen hat E. SPENKE, der langjährige Mitarbeiter W. SCHOTTKYS in den Siemens-Laboratorien, während der letzten Jahre seine Hörer mit den Grundlagen der modernen Halbleiter-Physik vertraut gemacht. Wegen der ungewöhnlich klaren und einfachen Darstellung auch komplizierter Zusammenhänge sind diese Vorträge wohl den meisten Hörern in besonders guter Erinnerung geblieben. Im ersten Teil des Buches, der den Leitungsmechanismus in Halbleitern und die Physik der Gleichrichter und Transistoren behandelt, werden nun diese Vorträge in gedruckter Form vorgelegt. Nicht in wörtlicher Wiedergabe und nicht mit den Überschneidungen und Wiederholungen, die bei einer Reihe selbständiger Einzelvorträge unvermeidlich sind, sondern in einer sorgfältig für den Druck überarbeiteten Form, die ihre Entstehung aus Vorträgen kaum noch erkennen läßt, die aber trotzdem nichts von der Lebendigkeit eines freien Vortrages verloren hat. Dieser erste Teil des Buches wendet sich bescheiden nur an „Anfänger". Der zweite, fast doppelt so lange Teil ist dagegen für „Fortgeschrittenere" bestimmt. Hier werden die Zusammenhänge strenger theoretisch begründet, die im ersten Teil durch mehr qualitative Überlegungen veranschaulicht worden sind. Ausführliche Kapitel dieses Teiles behandeln das Bändermodell, die FERMI-Statistik und die Randschichten, kürzere die Näherungsmethoden der Quantenmechanik der Wasserstoffmolekel und Störstellen-Gleichgewichte.

Damit bei einem normalen Umfang das Buch nicht oberflächlich, aber andererseits nicht zu konzentriert wurde, sind manche Dinge rigoros fortgelassen worden, die man unter dem Titel „Elektronische Halbleiter" eigentlich erwartet. Zum Teil weist das Vorwort darauf hin: nicht behandelt werden unter anderem die Theorie der freien Weglänge, also die Theorie der Beweglichkeit sowie alle optischen und lichtelektrischen Prozesse in Halbleitern. Auch von experimentellen Ergebnissen werden so gut wie gar keine Einzelheiten mitgeteilt; auch darüber sollte der Leser nicht im Zweifel gelassen werden, bevor er mit dem Studium des Buches beginnt. Das Buch beschränkt sich eben ganz bewußt — in erster Linie aus pädagogischen Gründen mit Rücksicht auf die „Anfänger" und die „Fortgeschritteneren" — auf ein Vertrautmachen mit den heute als sicher geltenden grundlegenden Begriffen und Vorstellungen über das Verhalten von Elektronen in Halbleitern unter Verzicht auf alles, was noch im Fluß ist, sei es experimenteller oder theoretischer Art. — Naheliegend ist ein Vergleich mit dem bekannten Buch von SHOCKLEY, das sich bei etwa gleichem Umfang mit seiner Gliederung in sogar drei Teile ebenfalls sowohl an Anfänger als auch an Fortgeschrittene wendet. SPENKE zieht den Rahmen seines Buches enger, d.h., er behandelt nicht so viele Themen wie SHOCKLEY, diese aber ausführlicher. Nicht nur für „Anfänger" und „Fortgeschrittenere" wird SPENKES Buch *die* Einführung werden — um so eher, als dieses das einzige in deutscher Sprache auf diesem Gebiet ist —, auch für jeden in der Halbleiter-Physik und auf angrenzenden Gebieten Arbeitenden wird es genau so unentbehrlich werden, wie es das Buch von SHOCKLEY bereits ist. — Die Ausstattung des Buches ist tadellos, wie man es von Springer-Büchern gewohnt ist; hervorzuheben ist, daß der Aufwand in Kauf genommen wurde, kompliziertere Figuren durch Dreifarbendruck leichter verständlich zu machen.

F. STÖCKMANN (Darmstadt).

Léon Moret: Manuel de Paléontologie animale. 760 pag., 274 fig., 12 tabl., 3. édition complétée d'un addendum. Paris: Masson & Cie. 1953. Fr. 2.880.

Methodisch wie taxionomisch[1]) hat die Paläontologie in jüngster Zeit eine derartige Ausweitung erfahren, daß die Darstellung selbst eines Teilgebietes, etwa der Invertebrata, im allgemeinen nicht mehr von einem einzelnen Bearbeiter gewagt wird. Hier liegt nun der ganze Stoff der Paläozoologie, Protisten bis Primaten, aus *einer* Feder vor, der übrigens der französische Studierende außerdem noch Lehrbücher der Paläobotanik (1949), der Heilquellen-Geologie (1945) und der gesamten Geologie (1947) verdankt. In solchem Rahmen entstanden, wird man von dieser Paläozoologie weder eine eigene Konzeption noch Gleichwertigkeit in allen Teilen erwarten. Es handelt sich um die Ausarbeitung von Vorlesungen des Verf. (Ordinarius der Geologie an der Universität Grenoble), denen vor allem ZITTELS *Grundzüge der Paläontologie*, weitere bewährte Lehrbücher sowie ergänzend neuere Spezialarbeiten zugrunde gelegen haben.

Das Werk beginnt mit einem Abriß der Allgemeinen Paläontologie (38 S.). Der spezielle Teil hat folgende (nicht in allem verständliche) Gliederung. I. Invertebrata: Protisten (einschließlich der pflanzlichen Einzeller), Spongien, Coelenteraten, Echinodermen, Bryozoen, Brachiopoden, Würmer, Arthropoden, Mollusken; II. Vertebrata: Fische (einschließlich Agnathi etc.), Amphibien, Reptilien, Vögel, Säuger.

Eine gute Formenkunde vermitteln die Kapitel über *Mollusken* (200 S., wobei allerdings Amphineuren und Scaphopoden nur wenige Zeilen eingeräumt sind), über die den Spezialarbeiten des Verf. besonders nahestehenden *Spongien* (30 S.) und Protisten mit Schwerpunkt *Foraminiferen* (70 S., noch ohne Berücksichtigung von GLAESSNER). Aus dem Kreis der Arthropoden werden nur die *Trilobiten* ausführlicher besprochen [doch ohne längst eingeführte nomenklatorische Korrekturen; das gleiche bemerkt man auch in anderen Kapiteln]. Daß den Krebsen und dem Heer der Insekten nur wenige Seiten zur Verfügung stehen, mag seine Erklärung in der relativ geringen Bedeutung ihrer fossilen Reste für den Geologen finden; aber gerade wenn das Lehrbuch auf diesen ausgerichtet ist, sind 2 Seiten über die als Mikrofossilien neben den Foraminiferen wichtigsten *Ostracoden* nicht ausreichend. Ebenso bleibt die Behandlung der *Bryozoen* und *Graptolithen* (je 7 S.) unbefriedigend; was über diese gesagt wird, führt zumindest zu Mißverständnissen (Stellung: Anhang Coelenteraten). Den stratigraphisch wichtigen „Panzerfischen" (4 S.) sowie den entwicklungsgeschichtlich bedeutsamen Crossopterygiern (wenige Zeilen) wäre mehr Platz zu wünschen.

So verschiedenwertig nun das Werk in seinen einzelnen Kapiteln für Studium und Information ist, so auffallend einheitlich ist die Illustration. Es sind insgesamt weit über 1000 Fossilien, die Verf. in eigener klarer Handschrift neu- oder umgezeichnet hat. Besonders müssen die den Abschnitten *Lamellibranchiaten* und *Gastropoden* beigegebenen Strichzeichnungen hervorgehoben werden. Leider haben die Bilder unter der Drucktechnik gelitten, deren Qualität vermuten läßt, daß es sich bei der vorliegenden Ausgabe um einen Nachdruck auf photomechanischer Grundlage handelt. Ihr Text ist gegenüber der 2. Auflage von 1947 unverändert; seither erschienene Literatur ist in einem Anhang zusammengefaßt. Das abschließende alphabetische Register der behandelten taxionomischen Einheiten (vom Genus aufwärts) umfaßt über 3000 Stichwörter.

W. SIMON (Clausthal-Zellerfeld).

[1]) Ref. benutzt diese Gelegenheit, auf ein Gutachten des Frankfurter Altphilologen Prof. Dr. E. WOLFF [in *Senckenbergiana lethaea* **35**, 115 (1954)] hinzuweisen, wonach die übliche Schreibweise *Taxonomie* (= zoologische Systemkunde) sprachlich unzulässig ist und ersetzt werden sollte durch *Taxinomie* oder besser noch *Taxionomie*.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Günter Holtz, Berlin W 35, Reichpietschufer 20. — Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg. — Printed in Germany.

WIR SUCHEN ZU KAUFEN

Akustische Zeitschrift, Band 1—3
Annalen der Physik, 5. Folge, Band 26, 39, 40; 6. Folge, Band 1, 2
Archiv Mikrobiologie, Band 1—13, auch einzeln
Berichte über die wissenschaftliche Biologie, Band 62, 63 Heft 1/2
Biochemische Zeitschrift, Band 306 Heft 1 und komplette Reihe
Chemisches Zentralblatt, Band 60—65, 66/II, 67/I, Gen. Reg. VIII Teil 3, 9, Gen. Reg. IX Teil 1—3
Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften Band 1—21 a. e.
Fortschritte der Botanik, Band 1—11, auch einzeln
Holz als Roh- und Werkstoff, Jahrgang 1—8
Liebigs Annalen der Chemie, Band 327—331, 339—346, 353—355, 361—364, 367—369, 397, 400—419, 491—493, 500, 511, 555
Mathematische Annalen, kplt., auch einzeln
Mathematische Zeitschrift, kplt., auch einzeln
Monatshefte für Chemie, Band 1—8, 10, 20—22, 28, 36, 37, 40—48, 53, 54, 57—59, 61, 63, 66, 70, 73—75
Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Math.-Physikalische Klasse, 1890—1904, 1915—1917, 1919, 1930—1944
Naturwissenschaften, 1913—1920, 1940 Heft 13
Ornithologische Monatsberichte, Band 1—52
Österreichische Botanische Zeitschrift, Band 1—79, 89, 93 Heft 3/4
Zeitschrift für analytische Chemie, Band 2, 3, 7, 10, 12, 13, 14, 19, 21, 24, 25, 42, 51, 59—64, 66—69, 71, 72, 79—82, 101—105, 119, 121—127
Zeitschrift für Astrophysik, kplt., auch einzeln
Zeitschrift für Physik, kplt., auch einzeln
Zentralblatt für Mathematik, Band 24—28

Außer den angegebenen Bänden suchen wir von diesen Zeitschriften auch komplette Reihen oder Teilserien, besonders die in den Kriegsjahren erschienenen Bände.

Angebote möglichst mit Preisangaben erbeten an:

LANGE & SPRINGER
Wissenschaftliche Buchhandlung
BERLIN W 35
Reichpietschufer 20

Vorlesungen über Entwicklungsphysiologie

Von Professor Dr. Alfred Kühn, Tübingen. Mit 477 Textabbildungen. IX, 506 Seiten Gr.-8°. 1955.
Ganzleinen DM 43.60

Inhaltsübersicht über die Vorlesungen: 1. Einleitung. Grundprobleme und Grundbegriffe. Entwicklungsphysiologie der Zelle; Formwechsel und Grundstruktur des Chromosomen; Mitosecyclus, Spiralisierung, Verdoppelung der Chromonemen. — 2. Architektur und chemischer Aufbau der Chromosomen. Nucleolenchromosomen, Euchromatin und Heterochromatin; Riesenchromosomen der Dipteren; submikroskopische Struktur der Chromosomen. — 3. Formwechsel der Chromosomen in Abhängigkeit von Funktionszuständen der Zelle und von der Zusammensetzung des Genoms. Die Meiose, Abhängigkeit ihres Verlaufs von inneren und äußeren Bedingungen. — 4. Der Verteilungsapparat der Chromosomen. Entstehung und Wandlung der Spindel; Meta- und Anaphasebewegung der Chromosomen; aberrante Verteilungsapparate. — 5. Cytoplasmateilung; Kernwachstum und Cytoplasmawachstum. — 6. Entwicklungsabläufe einzelliger Organismen als Modifikationsvorgänge. Vegetative und Dauerzustände, Sexualvorgänge; Amöben *Actinophrys*, Phytomonadinen. — 7. Entwicklungsabläufe nichtzelliger offener und geschlossener Systeme. Bestimmung der Polarität und Organdetermination durch äußere und innere Bedingungen; *Saprolegina Bryopsis Acetabularia*. — 8. Drei Gestaltungsprinzipien beim Aufbau einfacher mehrzelliger Systeme; Volvocales, Acrasieen, koloniebildende Chrysomonadinen. — 9. Befruchtung des Metazoeneies, Besamung, Vereinigung der Vorkerne, Entwicklungserregung. — 10. Polarität der Ausgangszelle in der Entwicklung vielzelliger Organismen. Bryophyten- und Pteridophytensporen, Fucaceeneier, Metazoeneier. — 11. Die Furchungsperiode. Veränderung der Kern-Plasmarelation; die Blastulazellen in entwicklungsphysiologischem Gleichgewichtszustand; Determination des Furchungsmusters, autonome periodische Cytoplasmaprozesse; Bedeutung der Eirinde. — 12. Primitiventwicklung der Echiniden. Normogenese; Isolierungs- und Transplationsversuche, Gefälle-Hypothese. 13. Vegetativisierung und Animalisierung von Echinidenkeimen. Physiologisch-chemische Prozesse. Bilateralität, Dorsoventralität. Wechselbeziehung zwischen Ektoderm und Skeletbildnern. — 14. Primitiventwicklung der Amphibien. Normogenese; Eibau, Symmetrisation, Furchung, Gestaltungsbewegungen der Gastrulation, Bewegungstendenzen der Blastulabereiche und ihre Koordination. — 15. Determination des Musters der Bewegungstendenzen der Blastulabereiche und der Gliederung der Blasteme bei der Amphibiengastrulation. Das Dorsalfeld, seine Neuformierung im Umkehrversuch. Physiologisch-chemische Ergebnisse am Amphibienkeim. — 16. Erste Differenzierungen der Keimblätter der Amphibien. Anlagenplan der Amphibienblastula; Determinationszustand des präsumptiven Ektoderm-, Entoderm- und Randzonenmaterials; autonome Differenzierung, Induktionsleistungen und Reaktionsfähigkeit des Chorda-Somiten-Bereichs. — 17. Morphogenese des Amphibien-Nervensystems. Normogenese. Determination seiner Gliederung, regionalspezifische Induktoren im Chordamesoderm, Induktionsstoffe, Quergliederung der Neuralanlage, mediolaterales Gefälle im Induktor. Selbstgliederung neutraler Organfelder. Determination der Längsgliederung der Neuralleiste durch die Somiten. Sekundäre Induktoren. Zeitliche Determiniertheit der Kompetenzen. — 18. Selbstgliederung des chordamesodermalen Feldes auf Grund eines Gefälles; abhängige Differenzierung der Seitenplatten. Entwicklung des Auges; Feldgliederung der Augenanlage, Determination der Linsenbildung; Dimensionierungsregulationen und Reparationen in der Augenentwicklung. Entwicklungsleistungen der Neuralleistenzellen bei der Knorpelbildung im Kopf und als Melanoblasten. — 19. Zusammenwirken von Entoderm-, Ektoderm- und Mesodermzellen in kombinierten Explantetaten, Modell der Bildung entodermaler Hohlorgane. Extremitätenentwicklung, Rolle des mesenchymalen Blastems und des Ektoderms. Selbstgliederungs- und Induktionsfelder. Rückblick: Schlüsse auf die Verursachung der der Normalentwicklung. —20. Mosaikentwicklung der Ascidicen. Organbildende Keimesbezirke, Entwicklung von Teilkeimen ohne Regulation, Keimverschmelzung, organdeterminierende Stoffe im Eicytoplasma. — 21. Mosaikentwicklung bei Formen mit Spiralfurchung. Furchungsverlauf; Verteilung von Cytoplasmastoffen. Entwicklung von Teilkeimen, Selbstdifferenzierung, Regulationen im Larvenstadium. Eicytoplasmamosaik; larvale Differenzierung ohne Furchung. Rolle der Eirinde, Determination der Organisation im *Daphnia*-Ei. — 22. Determination der Körpergrundgestalt bei Insekten. Normogenese. Schnürungs- und Zerschneidungsversuche am Keim; Bildungszentrum und Differenzierungszentrum; Regulationseier, Periode der Keimesanlage als Selbstgliederungsfeld, das Ektoderm des Keimstreifs als Induktionsfeld. Eier mit früher Determination, Determinationsmosaik im Rindenplasma der Eizelle. Reichweite der embryonalen Determination, Imaginalscheiben; Determination der Urkeimzellen. — 23. Nachembryonale Entwicklung der Insekten. Metamorphose, das dreigliedrige hormonale System in der Schmetterlingsmetamorphose; Reaktionsfähigkeit der Epidermis, Metamorphose von Hautimplantaten, Wiederholbarkeit der Metamorphoseschritte; artunspezifische Metamorphosehormone. — 24. Determination des Organmusters der Imago. Regionale Determination der Larvenepidermis. Regulationen in Imaginalscheiben; männliche Genitalscheiben und Augen-Antennen-Imaginalscheiben von *Drosophila*; differentielle Teilungen bei der Ommatidienbildung. Organmuster des Schmetterlingsflügels. — 25. Pflanzliche Entwicklungsvorgänge. Typische Entwicklung eines Krauts. Wirkung von Phytohormonen in der vegetativen Entwicklung auf Streckungswachstum, sekundäres Dickenwachstum, Bildung von Wurzeln und den Ausbau des Sproßsystems. Innere und äußere Bedingungen der Blühphase; Temperatur- und Lichtwirkungen, Blühhormone, Kurztags- und Langtagspflanzen, endogene Rhythmik. — 26. Äußere Bedingungen der Differenzierung vegetativer Pflanzenorgane bei Kurztags- und Langtagspflanzen, morphogenetische Wirkstoffe. Differenzierungen in Gewebekulturen, Polarität. Musterdeterminationen durch umchlagende Modifikationen, durch differentielle Teilungen und durch Hemmungsfelder; Epidermismuster von Blättern. — 27. Materialordnung bei Differenzierungsvorgängen. Formbildungsleistungen in Gewebekulturen als Modelle funktioneller Strukturbildung in Stützgeweben. Biokristalliner Charakter des Echinodermenskelets; funktionelle Strukturen, nichtfunktionelle Korrelationen. — 28. Das Erbgefüge als Bedingung der Morphogenese. Innerzellige und zwischenzellige Genwirkungen, Phänokopien, sensible Perioden. Mutationswirkungen bei Insekten, Genwirkungen auf die Kompetenz von Zellen, auf Feldgliederungen und auf den Organcharakter. — 29. Letalfaktoren als Mittel der Analyse von Genwirkungen. Letalfaktoren bei Insekten. Phasenspezifität und Organspezifität, polyphänes Schädigungsmuster. Mutationswirkungen bei Wirbeltieren. — 30. Frage nach der Natur der Genwirkungen. Mutationswirkungen auf chemische Prozesse als Modelle; Genwirkketten und Wirknetze. Aktivierung bestimmter Gene; funktionelle Chromosomenreaktionen. Cytoplasmazustände bei Determinationsvorgängen, hypothetisches chemisches Modell. Cytoplasmastrukturen als Teile des Erbgefüges. Bedeutung der Ribonucleotide enthaltenden Cytoplasmastrukturen für die Morphogenese. Vielzahl der Proteine und der Nucleinsäuren als mögliche Grundlage der Genmannigfaltigkeit. Ungelöste Probleme. Schriftenverzeichnis. Sachverzeichnis.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Diesem Heft liegen zwei Prospekte des Springer-Verlages, Berlin · Göttingen · Heidelberg, bei.